

Aus der Poliklinik für Kieferorthopädie
(Prof. Dr. med. dent. P. F. Meyer-Marcotty)
im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen

**Dreidimensionale Analyse der
kieferorthopädischen
Dekompensation bei kombiniert
kieferorthopädisch-
kieferchirurgischer Therapie**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades

für Zahnmedizin

der Medizinischen Fakultät der

Georg-August-Universität zu Göttingen

vorgelegt von

Johanna Maria Leding

aus

Münster

Göttingen 2021

Dekan: Prof. Dr. med. W. Brück

Betreuungsausschuss

Betreuer/in: Prof. Dr. med. dent. P. F. Meyer-Marcotty

Ko-Betreuer/in: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. K. G. Wiese

Prüfungskommission

Referent/in: Prof. Dr. med. dent. P. F. Meyer-Marcotty

Ko-Referent/in: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. K. G. Wiese

Drittreferent/in: Prof. Dr. mult. T. Meyer

Datum der mündlichen Prüfung: 24.03.2022

Hiermit erkläre ich, die Dissertation mit dem Titel „Dreidimensionale Analyse der kieferorthopädischen Dekompensation bei kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Therapie" eigenständig angefertigt und keine anderen als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

Göttingen, den
(Unterschrift)

Die Daten, auf denen die vorliegende Arbeit basiert, wurden teilweise publiziert:

Quast A, Santander P, **Leding J**, Klenke D, Moser N, Schliephake H, Meyer-Marcotty P (2020): Orthodontic incisor decompensation in orthognathic therapy – success and efficiency in three dimensions. Clin Oral Investig 25, 4001–4010

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	IV
Abkürzungsverzeichnis	V
1 Einleitung	1
1.1 Kieferorthopädische Therapie im Erwachsenenalter	1
1.2 <i>Surgery first</i> versus <i>orthodontics first</i>	3
1.3 Kieferorthopädische Dekompensation bei kombiniert kieferorthopädisch- kieferchirurgischer Therapie im Rahmen des OF-Konzeptes	8
1.4 Zielsetzung der Arbeit	16
2 Material und Methoden	17
2.1 Patientenkollektiv	17
2.2 Röntgenologische Bildgebung	18
2.2.1 Das FRS (T1)	18
2.2.2 Die DVT (T2, T3)	19
2.3 Erstellung der dreidimensionalen Datensätze – Generierung des virtuellen Patientenmodells	21
2.3.1 Erstellung des dreidimensionalen Schädels	21
2.3.2 Erstellung der dreidimensionalen Zahnreihen	24
2.3.3 Registrierung der generierten Datensätze – Fusion des virtuellen Patientenmodells	24
2.4 Kephalometrische Datenanalyse	27
2.4.1 Zwei- und dreidimensionale Ausrichtung der Datensätze	27
2.4.2 Kephalometrische Referenzpunkte	27
2.4.3 Kephalometrische Referenzlinien und -ebenen	34
2.4.4 Kephalometrische Messwerte	37
2.5 Statistische Auswertung	39
3 Ergebnisse	41
3.1 Patientenspezifische Daten	41
3.2 Reliabilität der kephalometrischen Messungen	42
3.3 Kephalometrische Messwerte in der Sagittalen	45
3.4 Kephalometrische Messwerte in der Vertikalen	59
3.5 Kephalometrische Messwerte in der Transversalen	61
4 Diskussion	65
4.1 Methodenkritik	65

4.1.1	Patientenkollektiv	65
4.1.2	Röntgenologische Bildgebung	66
4.1.3	Kephalometrische Datenanalyse	67
4.2	Interpretation der Ergebnisse	68
4.2.1	Reliabilität der kephalometrischen Messungen.....	68
4.2.2	Kephalometrische Messwerte in der Sagittalen	69
4.2.3	Kephalometrische Messwerte in der Vertikalen	72
4.2.4	Kephalometrische Messwerte in der Transversalen	73
4.3	Schlussfolgerungen und Ausblick.....	74
5	Zusammenfassung	76
6	Literaturverzeichnis.....	78

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Möglichkeiten der Frontzahnbewegung im Ober- und Unterkiefer unter Berücksichtigung der Therapiemöglichkeiten.....	2
Abbildung 2: Patientenfall mit skelettaler Klasse II/2.	9
Abbildung 3: Patientenfall mit skelettaler Klasse III.	10
Abbildung 4: Darstellung der kephalometrischen Vermessung des „Wits“-Wertes	11
Abbildung 5: Röntgenbilder eines Patienten mit skelettaler Klasse II/1.....	12
Abbildung 6: Intraorale Fotos eines Patienten mit skelettaler Klasse II/1.....	13
Abbildung 7: Darstellung einer Patientin ausgerichtet für ein FRS.....	19
Abbildung 8: Darstellung einer Patientin ausgerichtet für eine DVT.....	20
Abbildung 9: Digitaler <i>workflow</i> der Erstellung des dreidimensionalen Schädels in der Software Mimics InPrint® 3.0.	23
Abbildung 10: Digitaler <i>workflow</i> der Kombination der generierten Datensätze in der Software ProPlan® CMF 3.0.	26
Abbildung 11: Übersicht der kephalometrischen Referenzpunkte anhand des FRS in der Software OnyxCeph ^{3TM} (T1).	30
Abbildung 12: Frontolaterale Übersicht der kephalometrischen Referenzpunkte am 3D-Modell.....	31
Abbildung 13: Laterale, sagittale Übersicht der kephalometrischen Referenzpunkte anhand der röntgenologischen Bildgebung und dem 3D-Modell.....	31
Abbildung 14: Übersicht der kephalometrischen Referenzpunkte, die ausschließlich zum Zeitpunkt T1 gesetzt wurden.....	33
Abbildung 15: Übersicht der kephalometrischen Referenzpunkte, die ausschließlich zu den Zeitpunkten T2 und T3 gesetzt wurden.	34
Abbildung 16: Kephalmometrische Referenzlinien in lateraler Ansicht.	35
Abbildung 17: Bland-Altman-Plots zum <i>intra-</i> und <i>inter-rater agreement</i> für die Messung „Wits“-Wert.....	43
Abbildung 18: Veränderungen der Frontzahninklination von T1 zu T2 zu T3 bei skelettaler Klasse II.	48
Abbildung 19: Postoperative Häufigkeiten der skelettalen Klassen bei initialer Klasse II.	49
Abbildung 20: Veränderungen der Frontzahninklination von T1 zu T2 zu T3 bei skelettaler Klasse III.	52
Abbildung 21: Postoperative Häufigkeiten der skelettalen Klassen bei initialer Klasse III.	53
Abbildung 22: Postoperative Überkorrektur des „Wits“-Wertes und des OK1-NA [°] in der Sagittalen bei initial skelettaler Klasse II.....	55
Abbildung 23: Streudiagramm zur Darstellung des signifikanten Faktors „Wits“-Wert zu T2 zur Beeinflussung des „Wits“-Wertes zu T3.	58
Abbildung 24: Postoperative Häufigkeiten der vertikalen Konfiguration bei initial offenem Biss.....	60
Abbildung 25: Postoperative Überkorrektur des ML-NL [°] in der Vertikalen bei initial skelettal offener Konfiguration	60
Abbildung 26: Postoperative Häufigkeiten von asymmetrischen und symmetrischen Patienten.....	63
Abbildung 27: Postoperative Überkorrektur in der Transversalen (siehe Mentondeviation) mit Darstellung der Sagittalebene.....	63

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Kephalometrische Referenzpunkte zu allen drei Zeitpunkten.	28
Tabelle 2:	Kephalometrische Referenzpunkte zum Zeitpunkt T1.....	32
Tabelle 3:	Übersicht der kephalometrischen Referenzpunkte, die zu den Zeitpunkten T2 und T3 gesetzt wurden.....	33
Tabelle 4:	Kephalometrische Referenzlinien.	34
Tabelle 5:	Kephalometrische Referenzebenen.....	35
Tabelle 6:	Kephalometrische Messwerte zur Beurteilung der Sagittalen.	37
Tabelle 7:	Kephalometrische Messwerte zur Beurteilung der vertikalen Frontzahnstellung.....	38
Tabelle 8:	Kephalometrische Messwerte zur Beurteilung der transversalen Frontzahnstellung.....	38
Tabelle 9:	Demografische und klinische Merkmale des Patientenkollektivs.....	41
Tabelle 10:	Werte der Messungen des <i>intra-</i> und <i>inter-rater agreements</i> der DVT- Aufnahmen.....	44
Tabelle 11:	Werte der Messungen des <i>intra-</i> und <i>inter-rater agreements</i> der FRS. ...	45
Tabelle 12:	Median und IQR der Messwerte in der Sagittalen bei initial skelettaler Klasse II (n = 26).....	46
Tabelle 13:	Median und IQR der Messwerte in der Sagittalen bei initial skelettaler Klasse III (n = 26).....	50
Tabelle 14:	Vergleich der Behandlungseffizienz (%) der sagittalen Dekompensation.....	54
Tabelle 15:	Behandlungsrichtung der sagittalen Dekompensation von T1 zu T2 (kieferorthopädisch) und von T2 zu T3 (chirurgisch).....	55
Tabelle 16:	Behandlungsrichtung der sagittalen Dekompensation für die skelettale Klasse III (n = 26).....	56
Tabelle 17:	Vergleich der Behandlungseffizienz der sagittalen Dekompensation von T1 zu T2 (kieferorthopädisch) und von T2 zu T3 (chirurgisch).....	57
Tabelle 18:	Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten (<i>r</i>) und <i>p</i> -Werte.....	58
Tabelle 19:	Median und IQR der Messwerte in der Vertikalen zu T1 (Behandlungsbeginn), T2 (präoperativ) und T3 (postoperativ).....	59
Tabelle 20:	Behandlungsrichtung der vertikalen Dekompensation bei Patienten mit offener skelettaler Konfiguration (n = 23).....	61
Tabelle 21:	Median und IQR der Messwerte in der Transversalen zu T1 (Behandlungsbeginn), T2 (präoperativ) und T3 (postoperativ).....	62
Tabelle 22:	Behandlungsrichtung der transversalen Dekompensation von T1 zu T2 (kieferorthopädisch) und von T2 zu T3 (chirurgisch).....	64

Abkürzungsverzeichnis

BSSO	Bilaterale sagittale Spaltosteotomie
DICOM®	<i>digital imaging and communications in medicine</i>
DVT	Digitale Volumentomographie
FRS	Fernröntgenseitenbild
IQR	Interquartilsabstand
LoA	<i>limits of agreement</i>
M _{Diff}	Mittlere Differenz
OF	<i>orthodontics first</i>
ROI	<i>region of interest</i>
SF	<i>surgery first</i>

1 Einleitung

1.1 Kieferorthopädische Therapie im Erwachsenenalter

Bereits 1979 beschrieb eine Studie von Thilander den Anstieg von Erwachsenenbehandlungen in der Kieferorthopädie (Thilander 1979). Seither ist die Anzahl von durchgeführten kieferorthopädischen Therapien im Erwachsenenalter stetig gestiegen. Das Journal of Clinical Orthodontics berichtete im Rahmen einer Praxiserhebung in den Vereinigten Staaten von Amerika zwischen den Jahren 1981 und 2013 von einem Anstieg kieferorthopädischer Erwachsenenbehandlungen von 15,4 % auf 23,0 % (Keim et al. 2013; Christensen und Luther 2015). Auch die American Association of Orthodontists meldete zwischen 2010 und 2012 einen Anstieg von kieferorthopädischen Erwachsenenbehandlungen um 14 %, die im Zeitraum von 2012 bis 2014 sogar auf 16 % anstiegen. Gründe dafür sind beispielsweise das erweiterte Bewusstsein für die Mundgesundheit und die Weiterentwicklung kieferorthopädischer Behandlungsmöglichkeiten (Li und Zhang 2014). Zudem bewegt das erhöhte Streben nach einem ästhetischen Erscheinungsbild volljährige Patienten dazu, sich einer kieferorthopädischen Therapie zu unterziehen (Breece und Nieberg 1986). Die kieferorthopädischen Behandlungsmöglichkeiten im Erwachsenenalter unterscheiden sich deutlich von denen für Kinder und Jugendliche, die sich in ihrer Vielfältigkeit durch das Ausnutzen von Wachstumsphasen ergeben (Proffit et al. 1992). Dennoch verfolgen kieferorthopädische Therapien in jeder Altersgruppe das von Andresen um das Jahr 1930 etablierte Ziel des Erreichens eines individuellen, ästhetischen und funktionellen Optimums (Andresen 1931). Nach abgeschlossenem Wachstum lassen sich in Abhängigkeit des Schweregrades der skelettalen Dysgnathie verschiedene Therapieoptionen voneinander unterscheiden wie beispielsweise die kieferorthopädische Camouflage-Behandlung, bei der eine dentoalveoläre Kompensation der Fehlstellung im Vordergrund steht oder die kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgische Therapie mit resultierender Korrektur der basalen Diskrepanz (Baik 2008; Raposo et al. 2018). Beide Behandlungen verfolgen entgegengesetzte Ziele und eine frühzeitige

Entscheidung für eine der beiden Therapieoptionen ist von großer Bedeutung für den Behandlungserfolg (Ishikawa et al. 1999).

Mit Abschluss des Wachstumes können ausgeprägte dentoalveoläre und skelettale Dysgnathien aufgrund biologischer Grenzen durch reine Kieferorthopädie jedoch häufig nur unzureichend behandelt werden. Das theoretische Konzept des *envelope of discrepancy* nach Proffit und Ackerman (1985) stellt die Limitationen von rein kieferorthopädischen Zahnbewegungen (innere Begrenzung), kieferorthopädischen Behandlungen unter Wachstumsnutzung (mittlere Begrenzung) und kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapien nach abgeschlossenem Wachstum (äußere Begrenzung) dar. Es verdeutlicht, dass die Frontzähne des Ober- und Unterkiefers im Verhältnis zu ihrer knöchernen Basis nur eingeschränkt protrudiert und retrudiert bzw. in der vertikalen Dimension intrudiert und extrudiert werden können (siehe Abbildung 1).

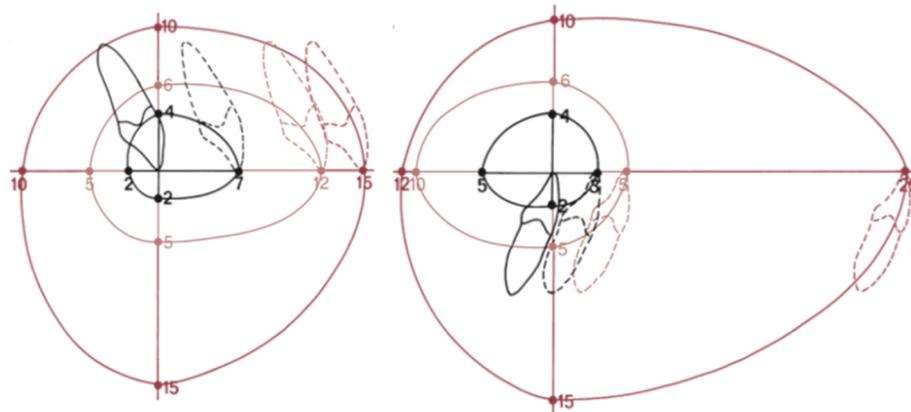


Abbildung 1: Möglichkeiten der Frontzahnbewegung im Ober- und Unterkiefer unter Berücksichtigung der Therapiemöglichkeiten. Der innere Kreis (schwarz) stellt die innere Begrenzung dar, analog dazu der mittlere (orange) und äußere (rot) Kreis (Proffit et al. 2013). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages.

Die Indikation für eine kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgische Therapie ergibt sich folglich, wenn eine ästhetische und funktionelle Anomalie nicht mehr innerhalb dieser Begrenzungen zufriedenstellend behoben werden kann und wird in Zusammenarbeit von Kieferorthopäden und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen gestellt (Proffit und White 1990; Wirthlin und Shetye 2013).

Grundsätzlich handelt es sich dabei um elektive, nicht lebensnotwendige operative Eingriffe (Mast und Ehrenfeld 2010). Die Inzidenz von korrekten Indikationsstellungen überprüften Stellzig-Eisenhauer *et al.* (2002), indem drei erfahrene Kieferorthopäden anhand der kephalometrischen Auswertung von Fernröntgenseitenbildern (FRS) erneut entschieden, ob eine Klasse III Malokklusion durch eine rein kieferorthopädische Behandlung behoben werden könnte, oder ob eine Umstellungsosteotomie benötigt würde. 92 % aller Patienten wurden der richtigen Gruppe zugeteilt, was für eine hohe Auswahl der adäquaten Therapieoption spricht. Als eine für die Indikationsstellung besonders entscheidende Variable stellte sich der „Wits“-Wert heraus, dessen Median bei den kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgisch therapierten Patienten bei -12,97 mm und bei den rein kieferorthopädisch behandelten Patienten bei -4,76 mm lag. Auch die initiale Frontzahnstellung spielt eine wichtige Rolle bei der Therapieauswahl (Kerr *et al.* 1992). Diese beeinflusst, wie viel Zahnbewegung im Rahmen der entweder kompensierenden oder dekompensierenden kieferorthopädischen Korrektur erreicht werden kann (Kerr *et al.* 1992). Insbesondere die Unterkieferfrontzähne bei Klasse III Patienten mit Indikation zur operativen Korrektur standen deutlich retrudierter als die Frontzähne rein kieferorthopädisch therapierter Patienten und es wird ein Schwellenwert von 83° für die Neigung der unteren Schneidezähne zur Unterkieferebene (Winkel: UK1-ML) angegeben.

1.2 *Surgery first versus orthodontics first*

Nach Indikationsstellung für eine kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgische Therapie bei ausgeprägten skelettalen Dysgnathien lassen sich zwei verschiedene Behandlungskonzepte voneinander unterscheiden: *Surgery first* (SF) und *orthodontics first* (OF). Bereits in den Anfängen der orthognathen Chirurgie wurden die Umstellungsosteotomien entweder vor Beginn oder nach Abschluss der kieferorthopädischen Therapie durchgeführt (Poulton *et al.* 1963). Die erste durchgeführte Dysgnathie-Operation erfolgte beispielsweise ohne kieferorthopädische Intervention 1849 durch den Chirurgen Simon P. Hüllihen (Goldwyn 1973; Aziz 2004). Bis in die 1960er-Jahre galt die präoperative kieferorthopädische Vorbehandlung der Zahnbögen gar als unüblich (Sharma *et al.* 2015). Allerdings resultierten ohne eine strukturierte

therapeutische Vorgehensweise häufig postoperative Rezidivprobleme, eine instabile Bisslage und somit eine eingeschränkte Kaufunktion (Bell und Creekmore 1973). Um diesen Problemen entgegenzuwirken wurde zunächst ein dreiphasiger Therapieplan nach dem OF-Konzept entwickelt, der sich bis heute als Standardverfahren etablieren konnte. Das OF-Schema gliedert sich in die präoperative kieferorthopädische Therapie, den operativen Eingriff und eine darauffolgende postoperative kieferorthopädische Phase (Proffit und Miguel 1995).

Dieser etablierte Ansatz zielt darauf ab, optimale chirurgische Korrekturen der Kieferbasen durchzuführen, indem der Schweregrad der skelettalen Fehlstellung bereits vor Behandlungsbeginn definiert wird und im Anschluss eine bestmögliche Behandlungsplanung stattfinden kann (Kwon und Han 2019). Nach der Diagnostik und Planung erfolgt die kieferorthopädische Korrektur der dentalen Fehlstellungen, sodass intraoperativ die ideale Repositionierung des maxillomandibulären Komplexes erfolgen kann (Worms et al. 1976). Bei diesem interdisziplinären Behandlungskonzept steht die kieferorthopädische Therapie an erster und letzter Stelle und nimmt somit den Großteil der Gesamtzeit in Anspruch, was wiederum von Patienten häufig negativ wahrgenommen wird (Nurminen et al. 1999). Luther *et al.* (2003) untersuchten den Zeitraum, über den sich die präoperative kieferorthopädische Behandlungsphase erstreckte. Diese nahm im Median 17 Monate in Anspruch. Sie schlussfolgerten, dass Patienten über eine präoperative Behandlungsdauer von 12 bis 24 Monaten aufgeklärt werden sollten. Zudem fanden sie heraus, dass in ihrem Patientenkollektiv die Klasse III Malokklusionen geringfügig länger (etwa zwei Monate) vorbehandelt wurden als Patienten mit einer Klasse II Malokklusion.

In einer weiteren Studie bestimmten sie einen Zeitraum von fünf bis elf Monaten der postoperativ benötigten kieferorthopädischen Intervention und stellten keinen Zusammenhang zwischen der Dauer der prä- und postoperativen Behandlungszeit fest (Luther et al. 2007). Indes werden Dysgnathie-Patienten als besonders unzufrieden mit ihrem Erscheinungsbild beschrieben, weshalb die lange kieferorthopädische Vorbehandlung, die durch die dentoalveoläre Dekompensation mit einer vorübergehenden Verschlechterung der Gesichtsästhetik und Kaufunktion einhergehen kann, negative Auswirkungen auf

die Psyche der Patienten haben kann (Cunningham 2000; Hernández-Alfaro et al. 2014).

Mit den ästhetischen und funktionellen Ergebnissen jedoch zeigten die operierten Patienten ein hohes Maß an Zufriedenheit – insbesondere dann, wenn sie vor Therapiebeginn adäquat über den Ablauf aufgeklärt wurden (Cunningham et al. 1996). Durch den maximalen okklusalen Zahnkontakt zum Zeitpunkt der Operation wird eine gute postoperative Stabilität gewährleistet (Rodríguez und González 1996). Das OF-Konzept führt zu vorhersagbaren Ergebnissen seitens des Kieferorthopäden, der den Zeitpunkt des operativen Eingriffes planen kann, um so die Zahnstellung präoperativ bestmöglich zu dekompensieren und den skelettalen Kieferbasen anzupassen (Choi et al. 2015).

Parallel zur Entwicklung und Etablierung des OF-Konzeptes entstanden erste Publikationen ca. 30 Jahre zeitversetzt zum strukturierten Vorgehen mittels SF (Behrman und Behrman 1988; Brachvogel et al. 1991). Vorteile wurden in einer verkürzten Behandlungszeit und der Therapieanpassung an die Bedürfnisse erwachsener Patienten durch eine sofortige Verbesserung der Gesichtsästhetik gesehen. Seit dem Einzug der dreidimensionalen Bildgebung in die Fachgebiete der Kieferorthopädie und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie ist das Interesse an dem Therapieansatz SF aufgrund der Möglichkeiten einer genauen Behandlungsplanung, -simulation und -durchführung stetig gestiegen (Lee et al. 2015).

Die SF-Therapie gliedert sich im Wesentlichen in zwei Teile: den chirurgischen Eingriff und die postoperative kieferorthopädische Behandlung. Das Einsetzen der Multiband-Apparatur erfolgt dennoch meist unmittelbar vor der Operation. In einigen Fällen, beispielsweise bei ausgeprägteren Dysgnathien oder Engständen, wird auch ein positiver Einfluss von minimaler kieferorthopädischer Vorbereitung der Zahnbögen von ein bis zwei Monaten beschrieben (Baek et al. 2010; Peiró-Guijarro et al. 2016). Die gesamte Behandlungsdauer ist durch das Ausbleiben der vollständigen prächirurgisch-kieferorthopädischen Behandlung dennoch deutlich geringer (Liao et al. 2010; Huang et al. 2014). In der Literatur gelten Nagasaka *et al.* (Nagasaka et al. 2009) mit ihrem Fallbericht über einen Klasse III Patienten, der nach der SF-Vorgehensweise behandelt wurde, als Wegbereiter für den heutigen interdisziplinären Teamansatz, der sich seither

stetig verbessert hat (Choi et al. 2019). Ein großer Vorteil dieses Behandlungsansatzes ist, dass bereits zu Beginn der Behandlung ein ästhetisch ansprechendes Erscheinungsbild erzielt wird (Epker und Fish 1977). Lee (1994) postulierte, dass kieferorthopädische Therapien bestmöglich in einer physiologischen Skelett- und Weichteilumgebung durchgeführt werden könnten und diese möglichst früh korrigiert werden sollten, um die okklusalen Verhältnisse besser vorhersagen zu können. Zusätzlich wird in der Literatur ein gesteigerter Knochenstoffwechsel im Rahmen des *regional acceleratory phenomenon* (RAP) für einen definierten Zeitraum von bis zu drei Monaten nach einer Umstellungsosteotomie diskutiert, was wiederum postoperativ schnellere Zahnbewegungen fördert (Zingler et al. 2017). Bei der Analyse der Lebensqualität von Dysgnathie-Patienten anhand von Fragebögen konnte festgestellt werden, dass der SF-Ansatz zu einer sofortigen Verbesserung der Lebensqualität führte, da die Unannehmlichkeiten einer Verschlechterung der Gesichtsästhetik und Kaufunktion während der präoperativen kieferorthopädischen Behandlung ausblieben (Pelo et al. 2017). Als Nachteil des SF-Konzeptes wird diskutiert, dass durch die zunächst instabilen postoperativen Okklusionsverhältnisse die Rezidivwahrscheinlichkeit höher ist (Liao et al. 2010). Dennoch sollte von der Ausrichtung der Kieferbasen zueinander unmittelbar nach dem operativen Eingriff kein Rückschluss auf die spätere Rezidivgefahr erfolgen, da postoperativ biologische, intensive Zahnbewegungen stattfinden können (Choi et al. 2019).

Die Indikationen zur Durchführung einer SF-Behandlung gegenüber dem OF-Konzept sind beispielsweise neben einer flachen Spee-Kurve und einer nahezu physiologischen Achsrichtung der Frontzähne das Vorhandensein von nur minimalen Engständen und keinen ausgeprägten Asymmetrien, sodass nicht jeder Patient mit einer skelettalen Dysgnathie nach diesem Behandlungskonzept operiert werden kann (Liou et al. 2011; Naran et al. 2018). Ein weiterer Nachteil des SF-Vorgehens ist, dass die ausbleibende dentale Dekompensation der Zähne intraoperativ ausgeglichen werden muss und der Behandler dafür Erfahrung benötigt (Baek et al. 2010). Die fehlende kieferorthopädische Ausformung der Zahnbögen führt zu einem Verlust des intraoperativen Leitfadens entlang der Okklusion des Patienten, was zu einer Verschlechterung der Vorhersage des postoperativen Ergebnisses führt (Kwon und Han 2019).

Eine verringerte postoperative Stabilität bei Unterkiefervorverlagerungen wurde durch Kim *et al.* (2014) bestätigt. Andere Studien hingegen konnten keine signifikanten Unterschiede in der postoperativen Stabilität feststellen, was aufzeigt, dass das Verfahren insbesondere in Bezug auf Langzeitergebnisse weiter erforscht werden muss (Liao *et al.* 2010; Choi *et al.* 2015).

Derzeit existieren beide Therapieansätze parallel zueinander. Sowohl das OF- als auch das SF-Konzept birgt wie bereits beschrieben neben ihren Vorteilen auch einige Nachteile. Die Indikationsstellung, nach welchem Therapieregime ein Dysgnathie-Patient behandelt wird, sollte stets individualisiert gestellt werden. Dabei ist es unabdingbar, zunächst den Ausprägungsgrad der dentalen und skelettalen Malokklusion zu beurteilen (Baek *et al.* 2010). Patienten, die nach dem SF-Konzept behandelt werden, erhoffen sich eine schnelle Verbesserung ihres Aussehens sowie eine kürzere Behandlungsdauer (Min *et al.* 2014). Der Wunsch nach der Verbesserung des äußeren Erscheinungsbildes wird bereits zu Behandlungsbeginn erfüllt, weshalb die postoperative kieferorthopädische Behandlungsphase mit unzufriedeneren Patienten und einer schlechteren Compliance einhergehen kann. Zudem wird in der Literatur diskutiert, dass die postoperative kieferorthopädische Behandlungsphase bei dem SF-Ansatz länger andauert (Yang *et al.* 2017). Ursächlich für einen verzögerten Beginn der postoperativen kieferorthopädischen Therapie können beispielsweise instabile Okklusionsverhältnisse sein (Barone *et al.* 2020). Eine signifikant kürzere kieferorthopädisch-kieferchirurgische Therapiedauer ergibt sich primär jedoch in Abhängigkeit des Behandlungsortes, wobei die Therapie in einer Universitätsklinik weniger Zeit beansprucht als in niedergelassenen Fachzahnarztpraxen (Slavnic und Marcusson 2010).

1.3 Kieferorthopädische Dekompensation bei kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Therapie im Rahmen des OF-Konzeptes

Bereits im 20. Jahrhundert haben zahlreiche Autoren die kieferorthopädische Dekompensation als wichtigen operationsvorbereitenden Behandlungsschritt im Rahmen der interdisziplinären kieferorthopädischen und kieferchirurgischen Therapie beschrieben (Worms et al. 1976; Proffit et al. 2013; Pelo et al. 2017). Diese zielt darauf ab, die unphysiologische Zahnstellung der skelettalen Fehlstellung anzupassen, um intraoperativ optimale Verlagerungstrecken erreichen zu können (Johnston et al. 2006; Carlos et al. 2009; Troy et al. 2009; Larson 2014). Hierbei stellen insbesondere die Achsstellung und die Position der Frontzähne limitierende Faktoren bezüglich der Ausrichtung der Kieferbasen zueinander dar (Kerr et al. 1992). Die Notwendigkeit der kieferorthopädischen Dekompensation ergibt sich aus der häufig vorausgegangen, wachstumsbedingten dentoalveolären Kompensation, die zum Funktionserhalt beiträgt und die skelettale Diskrepanz kaschiert (Jacobson et al. 1974; Worms et al. 1976; Burns et al. 2010). Die dentoalveoläre Kompensation wird in der antero-posterioren Richtung durch die umgebenden Muskelzüge zusätzlich verstärkt (Ahn und Baek 2011). Es handelt sich um die natürlich stattfindende Tarnung (sog. Camouflage) der skelettalen Diskrepanz in allen drei Ebenen (Solow 1980). Diese verdeckt somit die skelettale und dentoalveoläre Disharmonie in der sagittalen, vertikalen und transversalen Relation und passt diese den dentofazialen Proportionen an (Anwar und Fida 2009; Alhammadi 2019). In Abbildung 2 und Abbildung 3 werden exemplarisch für die skelettale Klasse II und III dentoalveolär kompensierte Dysgnathie-Patienten nach Indikationsstellung zur kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie dargestellt.

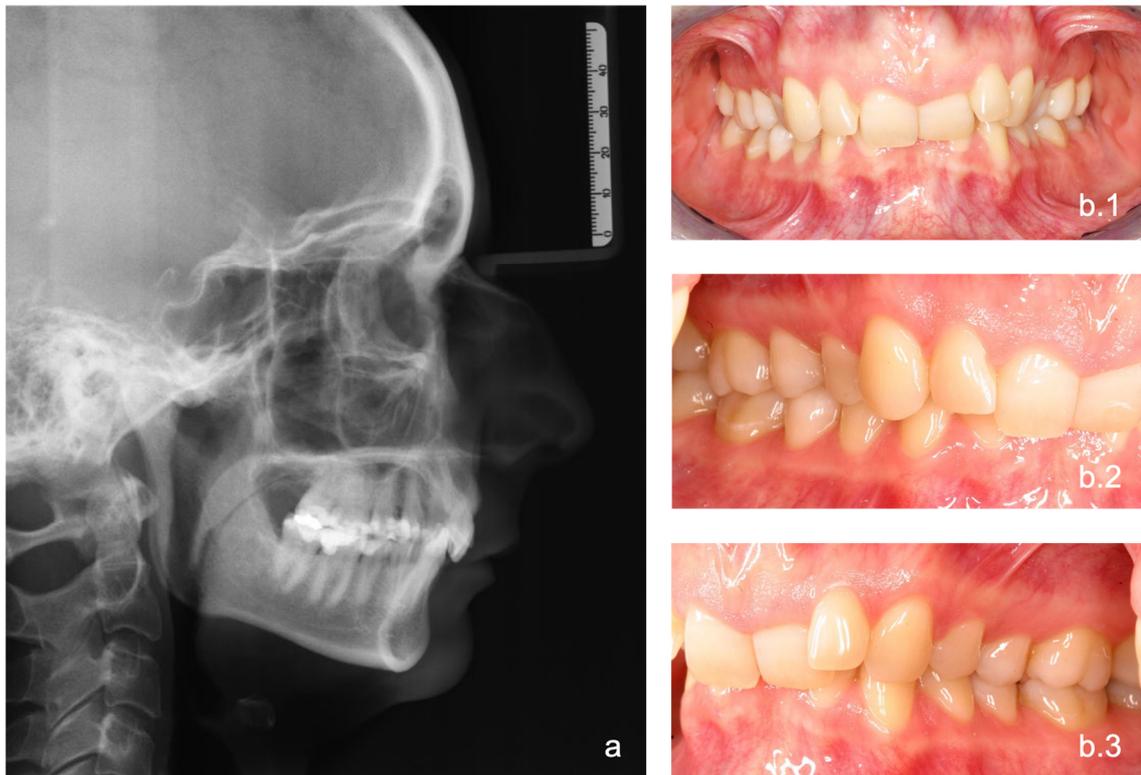


Abbildung 2: Patientenfall mit skelettaler Klasse II/2.

a) initiale FRS-Aufnahme (T1)

b.1-b.3) intraorale Fotos der dentoalveolären Kompensation

(insbesondere Steilstand/Retroinklination der oberen Frontzähne zum Ausgleich der Unterkieferrücklage) (T2).

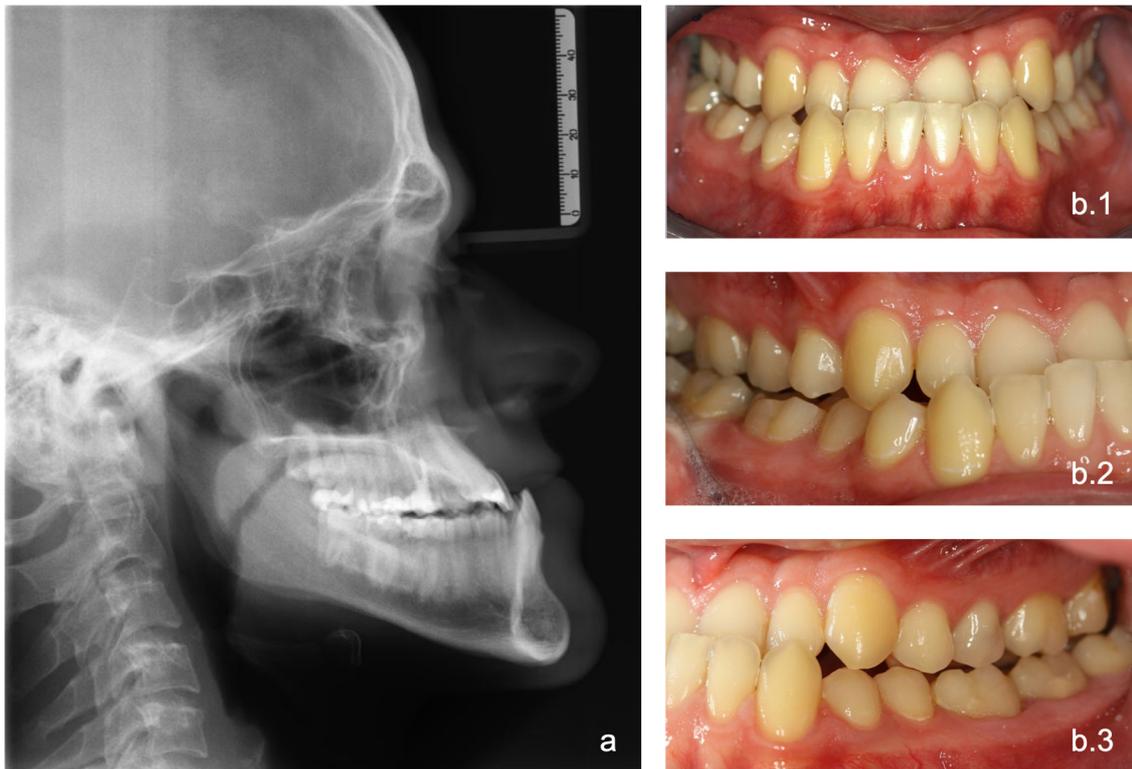


Abbildung 3: Patientenfall mit skelettaler Klasse III.

a) initiale FRS-Aufnahme (T1)

b.1-b.3) intraorale Fotos der dentoalveolären Kompensation

(insbesondere Steilstand/Retroinklination der unteren Frontzähne zum Ausgleich der Prognathie der Mandibula bzw. Retrognathie der Maxilla) (T2).

Die prächirurgische kieferorthopädische Dekompensation dieser Fehlstellung hingegen bewirkt häufig eine vorübergehende Verstärkung der Malokklusion (Troy et al. 2009). Die Bewegung der Frontzähne verläuft währenddessen in Abhängigkeit der jeweiligen skelettalen Klasse, dessen Einteilung nach Jacobson (1975) anhand des „Wits-appraisal“ der Kiefer-Disharmonie erfolgen kann. Der „Wits“-Wert basiert auf einer Messung zwischen den senkrecht auf die Okklusionsebene projizierten knöchernen Referenzpunkten „A“ als tiefste Einziehung der lateralen Kontur des Oberkiefers und „B“ als tiefste Einziehung der lateralen Kontur der Symphyse des Unterkiefers. So beschreibt der „Wits“-Wert die antero-posteriore Beziehung der Kieferbasen zueinander (siehe Abbildung 4).

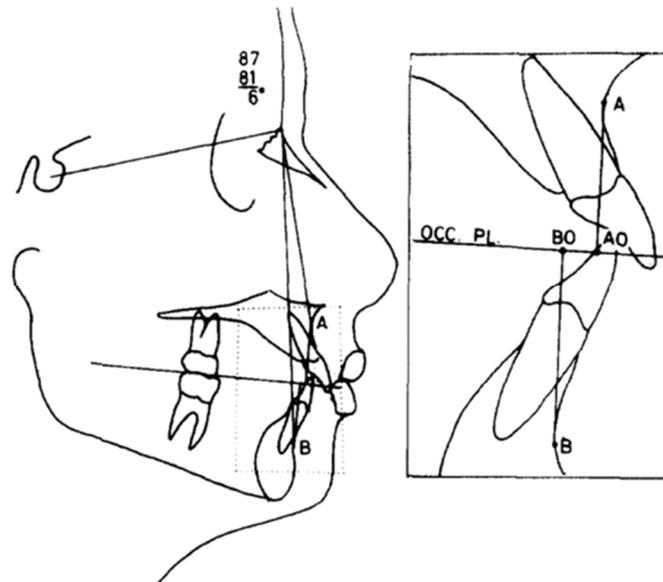


Abbildung 4: Darstellung der kephalometrischen Vermessung des „Wits“-Wertes durch Projektion der Punkte „A“ (AO) und „B“ (BO) auf die Okklusions-ebene (Occ. Pl.) (Jacobson 1975). Die Verwendung erfolgt mit freundlicher Genehmigung des Elsevier Verlages.

Während der vorausgegangenen physiologischen dentoalveolären Kompensation treten bei einer skelettalen Klasse III („Wits“-Wert < -2 mm), bei der häufig der Unterkiefer prognath wächst, vor der kieferorthopädischen Behandlung typischerweise eine retroinklizierte Unterkiefer- und eine proklinierte Oberkieferfront auf (Jacobson et al. 1974). Die Achsrichtung der Frontzähne bei einer skelettalen Klasse II („Wits“-Wert > 2 mm) verläuft hingegen meist in Abhängigkeit der Rücklage der Mandibula sowie der Untergruppen skelettale Klasse II/1 und II/2 (Ngan et al. 1997).

In den beiden nachfolgenden Abbildungen werden sowohl das initiale FRS zu Behandlungsbeginn (T1) und ein Ausschnitt der präoperativen (T2) digitalen Volumentomographie (DVT) als auch die intraoralen Fotos zu T1, zu T2 und zu Behandlungsabschluss (T4) eines Patienten mit einer skelettalen Klasse II/1 dargestellt, der in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Göttingen kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgisch therapiert worden ist (siehe Abbildung 5, Abbildung 6). Diese veranschaulichen den kieferorthopädischen Behandlungsablauf von der ursprünglich dentoalveolär kompensierten Ausgangssituation zur dekompenzierten präoperativen Achsausrichtung der Zähne und schließlich das posttherapeutische Ergebnis.

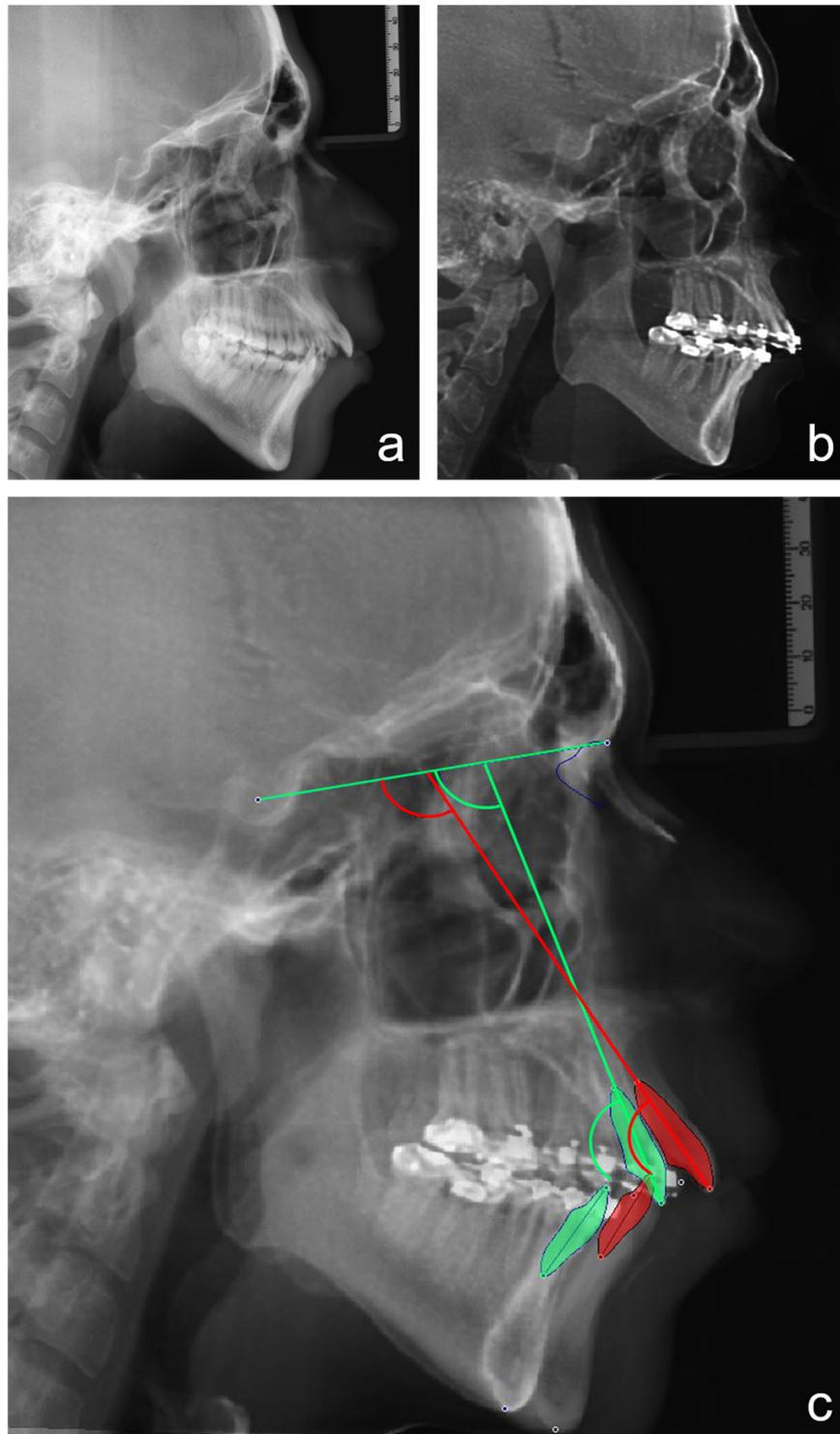


Abbildung 5: Röntgenbilder eines Patienten mit skelettaler Klasse II/1.

a) FRS zu Behandlungsbeginn (T1)

b) Ausschnitt aus der präoperativen DVT (T2)

c) Überlagerung des FRS (T1, rot) und der DVT (T2, grün); die skelettalen Diskrepanzen ergeben sich aus der chirurgisch unterstützten Gaumennahtweiterung, die von T1 zu T2 durchgeführt wurde.



Abbildung 6: Intraorale Fotos eines Patienten mit skelettaler Klasse II/1.

a.1-a.5) vor Behandlungsbeginn (T1)

b.1-b.5) präoperativ ausgeformte Zahnbögen mit 4er-Extraktion (T2)

c.1-c.5) nach Behandlungsabschluss (T4).

Analog zur Behandlung einer skelettalen Klasse III ist in der Sagittalen die Retrusion der Schneidezähne im Oberkiefer bei Patienten mit skelettaler Klasse II/1 ein präoperatives Behandlungsziel. Bei Betrachtung der überlagerten Röntgenbilder wird erkenntlich, dass eine Retrusion der Frontzähne stattgefunden hat (siehe Abbildung 5 c). Diese kann beispielsweise durch die Extraktion von Prämolaren, wie im oben gezeigten Patientenbeispiel, oder durch reine Distalisationsbewegungen erfolgen. Zudem wurde durch die Retrusion im Unterkiefer das Ziel verfolgt, die bereits vergrößerte Frontzahnstufe (*overjet*) zu erweitern. In der vertikalen Dimension zeigte sich der Patient zunächst in einer

offenen Konfiguration (Winkel ML-NL $> 26,5^\circ$). Aufgrund der fehlenden Abstützung der Oberkieferschneidezähne war der *overbite* zu T1 trotz der offenen Bisslage vergrößert. Dieser konnte im Rahmen der präoperativen kieferorthopädischen Dekompensation erfolgreich verringert werden. Auch in der Transversalen bestand bei dem abgebildeten Patienten mit skelettaler Klasse II/1 Behandlungsbedarf. Die intraoralen Fotos zeigen initial massive Engstände und einen Kreuzbiss im Seitenzahnbereich (siehe Abbildung 6 a.1-a.5). Zudem lag eine mandibuläre Mittellinienverschiebung vor. Zur transversalen Erweiterung der Maxilla erhielt der Patient sechs Monate nach erstmaliger Vorstellung in der Dysgnathie-Sprechstunde eine chirurgisch unterstützte Gaumennahterweiterung mittels eines Distraktors, der das Auflösen der ausgeprägten Engstände im Oberkiefer unterstützt hat. Beim Vergleich zwischen den intraoralen Fotos zu Behandlungsbeginn (siehe Abbildung 6 a.1-a.5) und präoperativ (siehe Abbildung 6 b.1-b.5) ist deutlich zu erkennen, dass die massiven Engstände erfolgreich aufgelöst wurden und die Zahnbögen nivelliert werden konnten. Im Anschluss an die Umstellungsosteotomie wurden die Zahnbögen über einen Zeitraum von sechs Monaten in allen Dimensionen feinjustiert, bis schließlich die Multiband-Apparatur entfernt und Retentionsschienen zur Vermeidung eines Rezidivs eingegliedert wurden (siehe Abbildung 6 c.1-c.5).

Die präoperative kieferorthopädische Dekompensationsbehandlung muss folglich in allen drei Ebenen stattfinden und bestimmt anschließend den Umfang der intraoperativ möglichen skelettalen Korrektur (Potts et al. 2011; Larson 2014). In der Sagittalebene ist die Betrachtung des *overjets* und der Frontzahnstellung von Ober- und Unterkiefer (z.B. OK1-NL bzw. UK1-ML) von Relevanz, da diese Parameter zu einer unmittelbaren Begrenzung der chirurgischen Verlagerungstrecken führen können (Potts et al. 2009). Dabei ist es wichtig, beide Parameter als gleichwertig zu betrachten. So kann es trotz des Erreichens eines normwertigen *overjets* aufgrund von mangelnder Dekompensation der Schneidezähne des Ober- und Unterkiefers zur Einschränkung der chirurgischen Korrekturen kommen (Johnston et al. 2006).

Bei Patienten mit skelettaler Klasse II besteht das präoperative Behandlungsziel in der Sagittalen beispielsweise im Aufrichten der Schneidezähne des Unterkiefers (Larson 2014). Allerdings verbleiben die präoperativ protrudierten Schneidezähne des Unterkiefers häufig auch postoperativ in protrudierter

Stellung, während die Retrusion der Oberkieferschneidezähne bei Patienten mit skelettaler Klasse II präoperativ häufig überkorrigiert wird (Burden et al. 2007; Larson 2014). Dennoch ist es auch bei unzureichender Dekompensation möglich postoperativ einen physiologischen *overjet* zu erreichen (Proffit et al. 1992; Burden et al. 2007). Bei skelettalen Klasse III Patienten hingegen findet die Dekompensation der Schneidezähne im Unterkiefer meist signifikant erfolgreicher statt, während die im Oberkiefer sich für beide skelettalen Klassen nicht unterscheidet (McNeil et al. 2014). Weitere Studien konnten bestätigen, dass die Dekompensation der Frontzähne im Rahmen der kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie bei Patienten mit einer skelettalen Klasse III ausschließlich im Unterkiefer erfolgreich stattfand (Capellozza Filho et al. 1996; Troy et al. 2009; Cappelozza et al. 2015). Dennoch fokussierten sich die genannten Studien größtenteils auf eine der beiden skelettalen Klassen, während in der vorliegenden Studie – neben zusätzlicher Betrachtung der vertikalen und transversalen Dimension – sowohl Patienten mit einer skelettalen Klasse II als auch mit einer skelettalen Klasse III anhand einer einheitlichen kephalometrischen Analyse untersucht wurden.

Die Studienlage zeigt, dass die prächirurgische kieferorthopädische Dekompensation und die Behandlungsergebnisse der orthognathen Chirurgie kritisch zu beurteilen sind und unmittelbar miteinander zusammenhängen. Der Großteil der bislang durchgeführten Studien hat sich in ihren Analysen lediglich auf die Sagittalebene beschränkt. Allerdings entstehen ausgeprägte dentale und skelettale Dysgnathien in allen drei Ebenen wie im Patientenbeispiel dargestellt, weshalb es von besonderer Bedeutung ist, neben der Sagittalebene auch die Vertikale und Transversale zu berücksichtigen und zu untersuchen. Durch den Einzug der dreidimensionalen DVT in das Fachgebiet der Kieferorthopädie ist die detailreiche, überlagerungsfreie Untersuchung der Zahnachsneigung in allen Dimensionen möglich (De Vos et al. 2009). Im Rahmen der kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie werden dreidimensionale DVT-Aufnahmen in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Göttingen sowohl prä- als auch postoperativ aufgrund einer therapiebestimmenden Analyse der knöchernen und dentalen Stellungen angefertigt. Dies ermöglichte im Rahmen des vorliegenden Forschungsprojektes

erstmalig (letzte durchgeführte PubMed-Recherche: 22.10.2020) die Analyse der kieferorthopädischen Dekompensation in allen drei Ebenen.

1.4 Zielsetzung der Arbeit

Ziel der Studie war die zwei- und dreidimensionale Untersuchung der Frontzahnstellung im Rahmen kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Therapien zu drei verschiedenen Zeitpunkten: Behandlungsbeginn (T1), präoperativ (T2) und postoperativ (T3). Die kephalometrischen Messungen fanden in allen drei Ebenen statt. Bislang existieren keine vergleichbaren Studien. Insbesondere die vertikale und transversale Dimension sind noch nicht hinreichend erforscht. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung der kieferorthopädischen Dekompensation wurden folgende Fragestellungen genauer analysiert:

- Unterscheidet sich der Erfolg der dentoalveolären Dekompensation in der sagittalen Dimension zwischen Dysgnathie-Patienten mit skelettaler Klasse II und III?
- Wie häufig verhindert eine unzureichende Dekompensation der Frontzahnstellung in der sagittalen Dimension die intraoperative Einstellung einer skelettalen Klasse I?
- Wird eine neutrale Bisslage in der vertikalen Dimension bei Patienten mit offener Konfiguration (divergierende Kieferbasen) erreicht?
- Existiert ein Unterschied bzgl. des Ausmaßes einer dentoalveolären Dekompensation zwischen symmetrischen und asymmetrischen Patienten in der transversalen Dimension?

2 Material und Methoden

2.1 Patientenkollektiv

Im Rahmen der vorliegenden longitudinalen, retrospektiven Studie wurden 52 erwachsene Patienten (weiblich = 33, männlich = 19; Alter zu T2 = 18 – 54,9 Jahre) untersucht, die im Zeitraum von 2016 bis 2020 im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universitätsmedizin Göttingen aufgrund einer ausgeprägten skelettalen Kieferfehlstellung kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgisch therapiert worden sind. Die dentalen und skelettalen Veränderungen mit besonderer Berücksichtigung der Frontzahninklination während dieser interdisziplinären Behandlung wurden zu drei verschiedenen Zeitpunkten mithilfe entsprechender Röntgenaufnahmen verglichen:

- T1: Situation vor kieferorthopädischem Behandlungsbeginn;
Röntgenaufnahme: FRS
- T2: Situation nach kieferorthopädischer Dekompensation;
Röntgenaufnahme: präoperativ angefertigte DVT
- T3: Situation nach der Umstellungsosteotomie;
Röntgenaufnahme: postoperativ angefertigte DVT.

Die Indikation zur Anfertigung dieser Röntgenaufnahmen erfolgte studienunabhängig im Rahmen der kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie. Das positive Votum der Ethikkommission mit der Nummer 7/1/16 und das schriftliche Einverständnis der Patienten lag vor. Die Umstellungsosteotomie wurde in der Poliklinik für Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie der Universitätsmedizin Göttingen entweder mono- (n = 11) oder bignath (n = 41) durchgeführt. Einige Patienten unterzogen sich im Zuge einer bilateralen sagittalen Spaltosteotomie (BSSO) der Mandibula nach Obwegeser-DalPont zusätzlich einer Genioplastik (n = 5).

Vor Durchführung der Studie wurden die Ein- und Ausschlusskriterien definiert. Zu den Einschlusskriterien zählten die Vollständigkeit der Unterlagen in optimaler Qualität mit Darstellung aller für die Studie notwendigen anatomischen Strukturen (FRS in habitueller Okklusion, Kiefermodelle des Ober- und Unterkiefers, DVT), Volljährigkeit zum Operationszeitpunkt sowie prä- und postoperativer initialer Zahnkontakt in der DVT-Aufnahme.

Als Ausschlusskriterien wurden definiert: kongenitale Syndrome, Lippen-Kiefer-Gaumen-Spalten oder ein „Wits“-Wert zwischen -2 mm und +2 mm zum Zeitpunkt T1.

2.2 Röntgenologische Bildgebung

2.2.1 Das FRS (T1)

Als Grundlage der kieferorthopädischen Diagnostik und Behandlungsplanung diente zu Behandlungsbeginn ein zweidimensionales FRS. Dieses wurde entweder im Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universitätsmedizin Göttingen oder durch Fachzahnarztpraxen für Kieferorthopädie angefertigt. Die Anfertigung der FRS erfolgte studienunabhängig im Rahmen der kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie. Das FRS diente der Darstellung des Schädels der Patienten in der Seitenansicht und wurde zur kieferorthopädischen Diagnostik routinemäßig nach folgendem Standard durchgeführt: Positionierung des Patienten in aufrechter Sitzposition und habitueller Interkuspitation, ausgerichtet parallel zur Frankfurter Horizontalebene (siehe Abbildung 7). Alle Bilder wurden aus einer Entfernung von 1,5 m aufgenommen, wobei der Strahlengang möglichst parallel verlief. Die Aufnahmedauer betrug in Abhängigkeit des verwendeten Röntgengerätes etwa 12 Sekunden. Die Strahlenbelastung lag je nach der Röntgentechnik zwischen 2,3 μSv (konventionell) und 1,1 μSv (digital). Die Auswertung der FRS erfolgte mit der Bildbearbeitungssoftware OnyxCeph^{3TM} (Image Instruments, Chemnitz).



Abbildung 7: Darstellung einer Patientin ausgerichtet für ein FRS.

2.2.2 Die DVT (T2, T3)

In der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Göttingen wird seit dem Wechsel des Lehrstuhles im Jahre 2015 die Planung der Umstellungsosteotomien digital mit der medizinischen Software ProPlan® CMF 3.0 (DePuy Synthes CMF, Company of Johnson and Johnson) durchgeführt. Dieses Vorgehen beinhaltet vier bis sechs Wochen präoperativ studienunabhängig die Anfertigung einer dreidimensionalen DVT (Orange Dental PaX Zenith 3D, Biberach an der Riß). Auch postoperativ erfolgte die Aufnahme fünf bis sieben Tage studienunabhängig zur Verlaufskontrolle.

Die DVT wurde mittels der Kegelstrahl-Technologie (*cone beam*) aufgenommen und ermöglichte eine kontrastreiche und dimensionstreue dreidimensionale Aufnahme von hartem und weichem Gewebe. Um eine Erfassung der gesamten maxillofazialen Anatomie zu gewährleisten, betrug die Spezifikation des Sichtfeldes (*field of view*) 240 x 190 mm bei einer Scanzeit von 24 Sekunden. Das kleinste Element der Volumenaufnahme, sog. Voxel, lag bei einer Größe von 0,3 mm. Die Bildgebung erfolgte standardisiert in aufrechter Sitzposition. Dazu

wurden die Patienten anhand der Frankfurter Horizontalebene mithilfe einer Kinn- und Kopfstütze sowie lichtoptischen Referenzlinien parallel zum Boden ausgerichtet (siehe Abbildung 8). Anschließend erfolgte die Exportierung der Datensätze in die Software Mimics InPrint® 3.0, Edition (Materialise, Belgien) zur Generierung des virtuellen Patientenschädels.



Abbildung 8: Darstellung einer Patientin ausgerichtet für eine DVT.

2.3 Erstellung der dreidimensionalen Datensätze – Generierung des virtuellen Patientenmodells

2.3.1 Erstellung des dreidimensionalen Schädels

Auf Basis der *digital imaging and communications in medicine*-Datensätze (DICOM®) der DVT wurde ein dreidimensionales Modell des knöchernen Schädels mithilfe der Software Mimics InPrint® 3.0 hergestellt (siehe Abbildung 9). Nach Importierung der Aufnahme in das Programm erfolgte im ersten Schritt zunächst die Erstellung des dreidimensionalen Schädels unter Ausblendung der Weichgewebe (Funktion: *create region of interest (ROI)*). Ermöglicht wurde dies durch die Regulation der Intensität der Grauwerte zwischen -1024 (Weichgewebe) und +5976 (Hartgewebe) (Funktion: *set threshold*). Die Anpassung dieser erfolgte in Abhängigkeit der Grauwerte des Bildmaterials, sodass lediglich die knöchernen Strukturen des maxillofazialen Komplexes sichtbar und im nächsten Schritt weiterbearbeitet wurden. In der vorliegenden Studie wurden Grauwerte zwischen -10 und +800 gewählt. Durch die Auswahl der Optionen *keep largest region* und *fill holes* wurden bei der Verarbeitung der Daten Strukturen, die für diese Studie nicht von Relevanz waren, wie beispielsweise die Wirbelsäule, herausgerechnet (siehe Abbildung 9 a). Im zweiten Schritt erfolgte die Bearbeitung des aus den Rohdaten generierten Schädels mit dem Ziel der Trennung von Maxilla und Mandibula unter Entfernung von Artefakten (Funktion: *edit ROI*). Dazu verhalf die Markierung eines Vordergrundes, der Maxilla, und eines Hintergrundes, der Mandibula, im röntgenologischen Datensatz (Funktion: *split*) (siehe Abbildung 9 b). Zunächst resultierte daraus die Generierung des maxillären Schädelanteils. Anschließend wurde dieser von dem in Schritt 1 hergestellten gesamten Schädel subtrahiert, sodass auch die Mandibula als einzelnes dreidimensionales Objekt sichtbar wurde. Durch die Auswahl unterschiedlicher Farben ließ sich der maxillomandibuläre Komplex folglich sichtbar voneinander unterscheiden. Durch die Markierung von Regionen an denen es typischerweise zur Bildung von Artefakten kam, beispielsweise um die Zahnreihen durch die feststehende metallische Multiband-Apparatur, wurden Störfaktoren sorgfältig entfernt, was die Weiterverarbeitung des Datensatzes erleichterte (Funktion: *lasso*). Der dritte Schritt diente der Konvertierung der benötigten knöchernen Strukturen und

ermöglichte eine erste Glättung der Oberfläche, durch die weitere Artefakte automatisch herausgerechnet wurden (Funktion: *add part*) (siehe Abbildung 9 c). Es folgte der finale Schritt, der aus einer weiteren Glättung der Schädelgeometrie bestand (Funktion: *edit part*). Der Parameter *detail* lag zwischen 0,25 mm und 0,7 mm und die Einstellung *fill cavities under* zwischen 0,3 mm und 0,5 mm. Schließlich wurde der finale knöcherne Schädel mit voneinander separierter Maxilla und Mandibula generiert (siehe Abbildung 9 d) und für die weitere Bearbeitung in das Programm ProPlan® CMF 3.0 eingefügt.

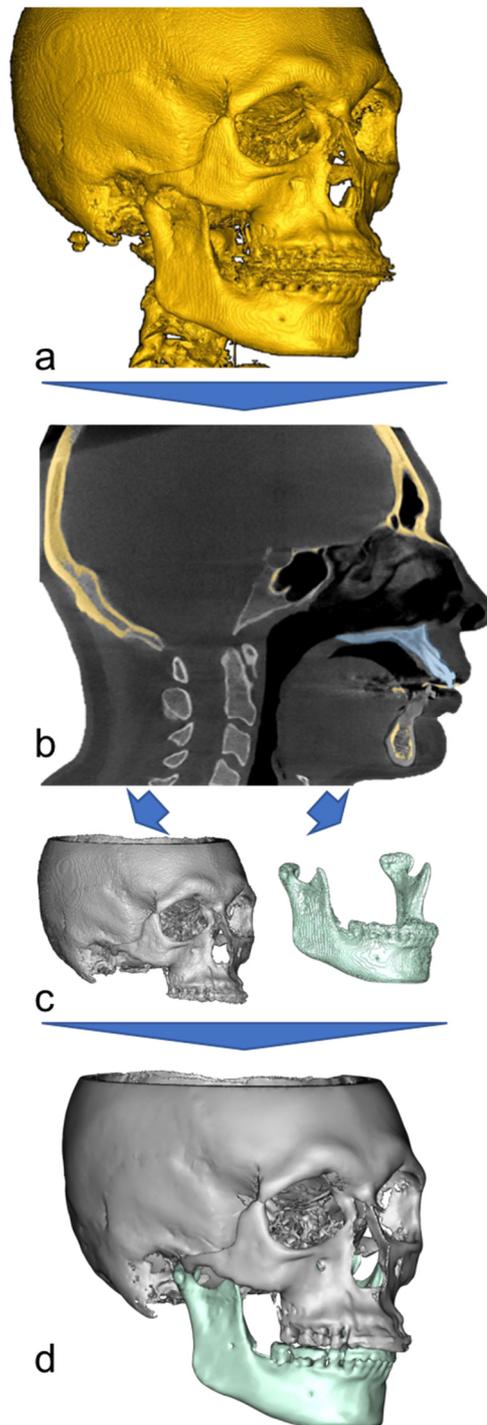


Abbildung 9: Digitaler *workflow* der Erstellung des dreidimensionalen Schädels in der Software Mimics InPrint® 3.0.

- a) Erstellung des dreidimensionalen Schädels mit Artefakten durch Regulation der Grauwerte
- b) Markierung des Vorder- und Hintergrundes in der Sagittalansicht der DVT zur Trennung von Maxilla und Mandibula im *slide view* Modus
- c) Maxilla und Mandibula voneinander getrennt nach Entfernung von Artefakten
- d) Finaler dreidimensionaler Schädel mit geglätteter Oberfläche.

2.3.2 Erstellung der dreidimensionalen Zahnreihen

Um neben der Generierung der dreidimensionalen knöchernen Verhältnisse auch eine detaillierte Darstellung der dentalen Verhältnisse zu erhalten, wurden im Zuge der präoperativen Behandlungsplanung digitalisierte Modelle der Zahnreihen des Ober- und Unterkiefers der Patienten benötigt. Daher wurden Situationsabformungen beider Kiefer studienunabhängig zur Operationsplanung mit dem Abformmaterial Alginate Tetrachrom (KANIEDENTA GmbH & Co. KG Dentalmedizinische Erzeugnisse, Herford) durch einen Behandler der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Göttingen durchgeführt. Nach der sich anschließenden Überführung der Abdrücke in Spezial-Hartgips (Picodent, pico-crema® soft, Dental-Produktions- und Vertriebs-GmbH, Wipperfürth) sowie der Registrierung der zentrischen Bisslage am Patienten, wurden die Gipsmodelle digitalisiert. Dies erfolgte mithilfe des Scanners S300 Ortho der Firma Zirkonzahn (Zirkonzahn S. R. L., Gais, Italien). Der Scanner ermöglichte die Erfassung der Modelle mit einer Präzision von weniger als 10 µm. Anschließend wurden die dreidimensionalen Gipszahnreihen in Form von Stereolithografie-Dateien (STL) abgespeichert, um zur Datenanalyse verwendet zu werden. Die Digitalisierung der Modelle erfolgte studienunabhängig durch eine wissenschaftliche Hilfskraft der Abteilung und die Daten wurden anschließend für die Analysen dieser Studie zur Verfügung gestellt.

2.3.3 Registrierung der generierten Datensätze – Fusion des virtuellen Patientenmodells

Es erfolgte die Überführung des dreidimensionalen Schädelmodells (siehe Punkt 3.3.1) und der digitalisierten Kiefermodelle (siehe Punkt 3.3.2) in die medizinische Software ProPlan® CMF 3.0. Im ersten Schritt wurde die Überlagerung der einzelnen Datensätze in der Programmoption *orthognatic wizard* durchgeführt (siehe Abbildung 10):

- a) Nach Importierung der dreidimensionalen Zahnreihen und nach Auswahl des maxillären Schädelanteils sowie des Oberkiefermodells wurden jeweils mindestens drei korrespondierende Punkte ausgewählt, die eine automatische Überlagerung der Dateien bewirkten (Funktion: *prepare for planning*) (siehe Abbildung 10 a.1-a.2).

- b) Durch das manuelle Markieren einzelner Regionen, die noch nicht optimal übereinstimmten, konnten diese nachjustiert werden (Funktion: *alignment*). Dafür wurden dentale Bereiche der Maxilla und entsprechende dentale Bereiche des Oberkiefermodells punktuell oder flächenhaft markiert (siehe Abbildung 10 b.1).
- c) Anhand der sagittalen, koronalen und axialen Ansicht der DVT erfolgte die Überprüfung der Überlagerungsgenauigkeit (siehe Abbildung 10 b.2).
- d) Bei noch bestehenden Unstimmigkeiten wurde die weitere manuelle Justierung in allen drei Ebenen vorgenommen (Funktionen: *rotate*, *translate*).
- e) Nachfolgend wurde der Bereich des Gipsmodells festgelegt, der in das finale Schädelmodell inkludiert werden sollte. Nach der Positionierung eines Blocks rechnet das Programm irrelevante Strukturen heraus und der finale maxilläre Schädel mit dimensionstreuer Darstellung der Front- und Seitenzähne sowie der Kieferrelation resultierte. Das Vorgehen für die Kombination der knöchernen Mandibula mit dem Unterkiefermodell geschah daraufhin analog.

Die korrekte Ausrichtung des gesamten Schädels erfolgte anschließend durch die Festlegung der Frankfurter Horizontalebene mit der Auswahl von drei Referenzpunkten: dem rechten unteren Orbitalrand sowie dem rechten und linken oberen Rand des Porus acusticus externus (siehe Abbildung 10 c). Im Anschluss wurde die kephalometrische Auswertung durchgeführt (siehe Punkt 3.4).

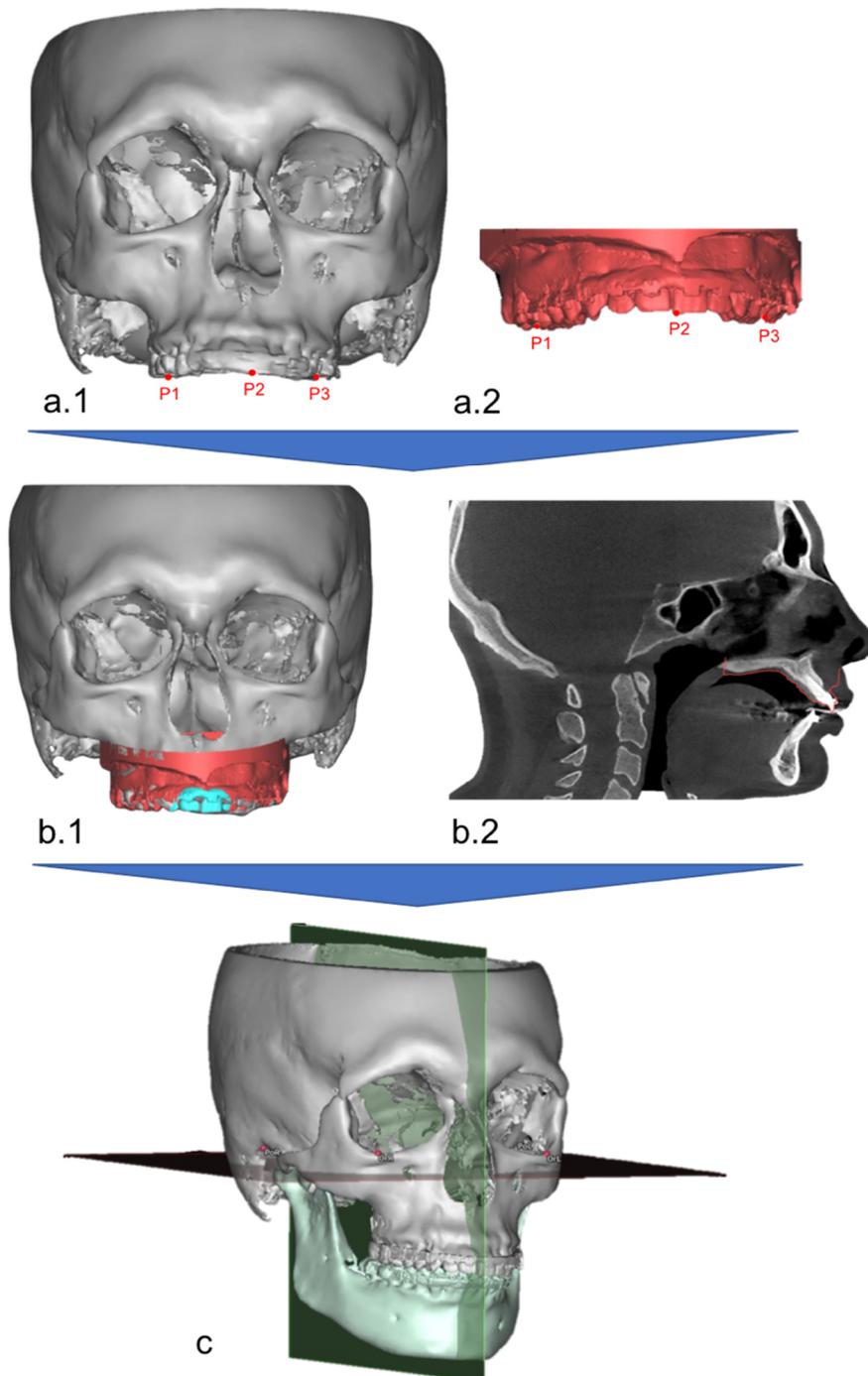


Abbildung 10: Digitaler *workflow* der Kombination der generierten Datensätze in der Software ProPlan® CMF 3.0.

a.1-a.2) Festlegung von drei Referenzpunkten am maxillären Schädelanteil (a.1) und dem Oberkiefermodell (a.2)

b.1-b.2) Manuelle Angleichung der Referenzpunkte mittels Markierung einzelner Regionen (b.1) unter röntgenologischer Kontrolle (b.2)

c) Schädel mit dimensionstreuen Zahnreihen zur kephalometrischen Datenanalyse, ausgerichtet anhand der Frankfurter Horizontalebene.

2.4 Kephalometrische Datenanalyse

Die kephalometrische Datenanalyse ermöglichte die patientenindividuelle Vermessung der skelettalen und dentalen Verhältnisse. Die Analyse wurde an die in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Göttingen routinemäßig angewandten Kephalometrie angelehnt. Die Frontzahnstellung wurde in allen drei Raumebenen zu folgenden Zeitpunkten beurteilt:

- Sagittale Frontzahnstellung: T1, T2, T3
- Vertikale Frontzahnstellung: T1, T2, T3
- Transversale Frontzahnstellung: T2, T3.

2.4.1 Zwei- und dreidimensionale Ausrichtung der Datensätze

Die Ausrichtung des Patientenschädels erfolgte sowohl für das zweidimensionale FRS als auch für die dreidimensionale DVT-Aufnahme anhand eines standardisierten Verfahrens (siehe Punkt 2.2.1 und Punkt 2.2.2). Dies ermöglichte die Vergleichbarkeit der Röntgenbilder miteinander. Während der Patient für das FRS bereits im Röntgengerät anhand der Frankfurter Horizontalebene ausgerichtet wurde, erfolgte die Ausrichtung der dreidimensionalen DVT-Aufnahme zusätzlich in der Software ProPlan® CMF 3.0 anhand eines Koordinatenkreuzes bestehend aus der Frankfurter Horizontalebene und der dazu senkrecht verlaufenden Median-Sagittal-Ebene und Frontalebene.

2.4.2 Kephalometrische Referenzpunkte

Zum Zeitpunkt T1 erfolgte die Festlegung der Referenzpunkte anhand des zweidimensionalen FRS mittels der Bildbearbeitungssoftware OnyxCeph^{3TM}. Der Vergrößerungsfaktor wurde anhand der Normierungspunkte A und B für jede Aufnahme individuell festgelegt. Für die Beurteilung der dreidimensionalen DVT zu den Zeitpunkten T2 und T3 wurde die Software ProPlan® CMF 3.0 verwendet. In diese wurde eine Kephalometrie analog zu der zum Zeitpunkt T1 eingepflegt. Um die Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Aufnahmen (zweidimensional versus dreidimensional) sicherzustellen, wurden sämtliche dreidimensional gesetzten Messpunkte über eine Linie senkrecht zur Sagittalebene auf diese gespiegelt und von dort, sofern nötig, auf andere Ebenen projiziert. Dies führte

sowohl in der Sagittalen als auch in der Vertikalen zu zweidimensionalen Messwerten. Durch die Verwendung zwei verschiedener Auswertungsprogramme ergaben sich Unterschiede bezüglich der benötigten Messpunkte. Im nachfolgenden Abschnitt sind die Referenzpunkte (siehe Tabelle 1, Abbildung 11, Abbildung 12, Abbildung 13) aufgeführt, die zu allen drei Zeitpunkten analysiert werden konnten. Untersuchungsgrößen, die nur zu einem (siehe Tabelle 2, Abbildung 14) oder zwei der drei Zeitpunkte (siehe Tabelle 3, Abbildung 15) relevant waren, sind entsprechend gekennzeichnet (T1, T2, T3). Zusätzlich erfolgte zu den Zeitpunkten T2 und T3 häufig eine rechts- und linksseitige Festlegung der Punkte, aus denen anschließend ein Mittelpunkt errechnet wurde. Dieser wurde durch verschiedene Hilfslinien, sofern notwendig, auf die Sagittalebene überführt. Die Kephalometrie steht für nachfolgende Forschungsprojekte unter dem Namen „Leding“ zur Verfügung.

Tabelle 1: Kephalometrische Referenzpunkte zu allen drei Zeitpunkten.

Abkürzung	Referenzpunkt	Beschreibung
N	Nasion	Anteriorster Punkt der Sutura nasofrontalis in der Median-Sagittal-Ebene
S	Sellamitte	Konstruierter Mittelpunkt der Sella turcica
Spa	Spina nasalis anterior	Anteriorster Punkt der knöchernen Spina nasalis anterior in der Median-Sagittal-Ebene
A	A-Punkt, Subspinale	Tiefster Punkt der anterioren Kontur des Oberkieferalveolarfortsatzes in der Median-Sagittal-Ebene
B	B-Punkt, Supramentale	Tiefster Punkt der anterioren Kontur des Unterkieferalveolarfortsatzes in der Median-Sagittal-Ebene
Me	Menton	Kaudalster Punkt der Unterkiefersymphyse in der Median-Sagittal-Ebene

Abkürzung	Referenzpunkt	Beschreibung
P	Porion	Kranialster Punkt des Porus acusticus externus
Or	Orbitale	Kaudalster Punkt der knöchernen Orbita
Sp^(T2, T3)	Spina Strich	Schnittpunkt zwischen den Linien N-Me und Spa-Spp
Ap1o	Apicale des oberen Eisers	Wurzelspitze des oberen mittleren Schneidezahnes
Is1o	Inzision superius	Spitze der Schneidekante des oberen mittleren Schneidezahnes
Is1u	Inzision inferius	Spitze der Schneidekante des unteren mittleren Schneidezahnes
Ap1u	Apicale des unteren Eisers	Wurzelspitze des unteren mittleren Schneidezahnes
hPOcP	Hinterer Punkt des Okklusionsplanums	Distalster Berührungspunkt der zweiten Molaren

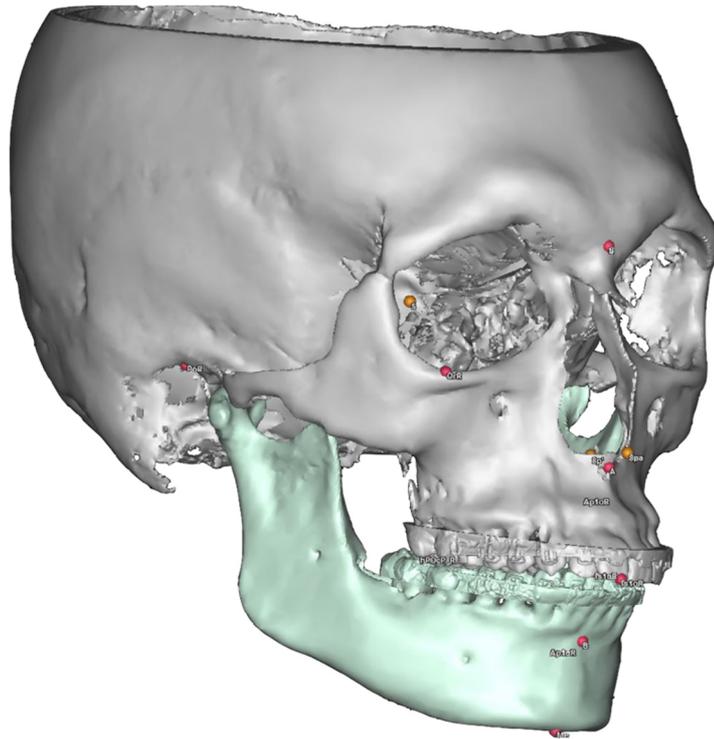


Abbildung 12: Frontolaterale Übersicht der kephalometrischen Referenzpunkte am 3D-Modell in der Software ProPlan® CMF 3.0 (T2, T3).

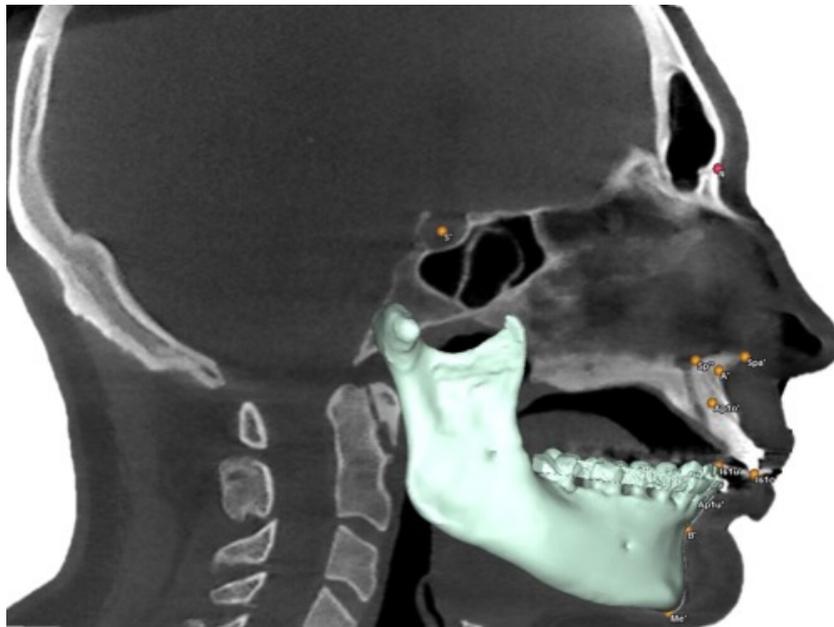


Abbildung 13: Laterale, sagittale Übersicht der kephalometrischen Referenzpunkte anhand der röntgenologischen Bildgebung und dem 3D-Modell in der Software ProPlan® CMF 3.0 (T2, T3).

Tabelle 2: Kephalometrische Referenzpunkte zum Zeitpunkt T1.

Abkürzung	Referenzpunkt	Beschreibung
NormA _(T1)	Normierungspunkt A	Erster Endpunkt der Normierungsskala
NormB _(T1)	Normierungspunkt B	Zweiter Endpunkt der Normierungsskala
Ar _(T1)	Artikulare	Schnittpunkt des unteren Randes der Schädelbasis mit dem dorsalen Rand des Ramus ascendens
T1 _(T1)	Tangente 1	Dorsalster Punkt des Ramus ascendens, Anlagepunkt einer Tangente von Punkt Ar an den aufsteigenden Ast der Mandibula
T2 _(T1)	Tangente 2	Dorsokaudalster Punkt des Unterkieferkörpers, Anlagepunkt einer Tangente von Punkt Me an den horizontalen Ast der Mandibula
Ptm _(T1)	Pterygomaxillare	Schnittpunkt der dorsalen Kontur des Corpus maxillae mit der Kontur des Gaumens
Li1u _(T1)	Labiale inferius	Labialster Punkt der Krone des unteren mittleren Schneidezahnes

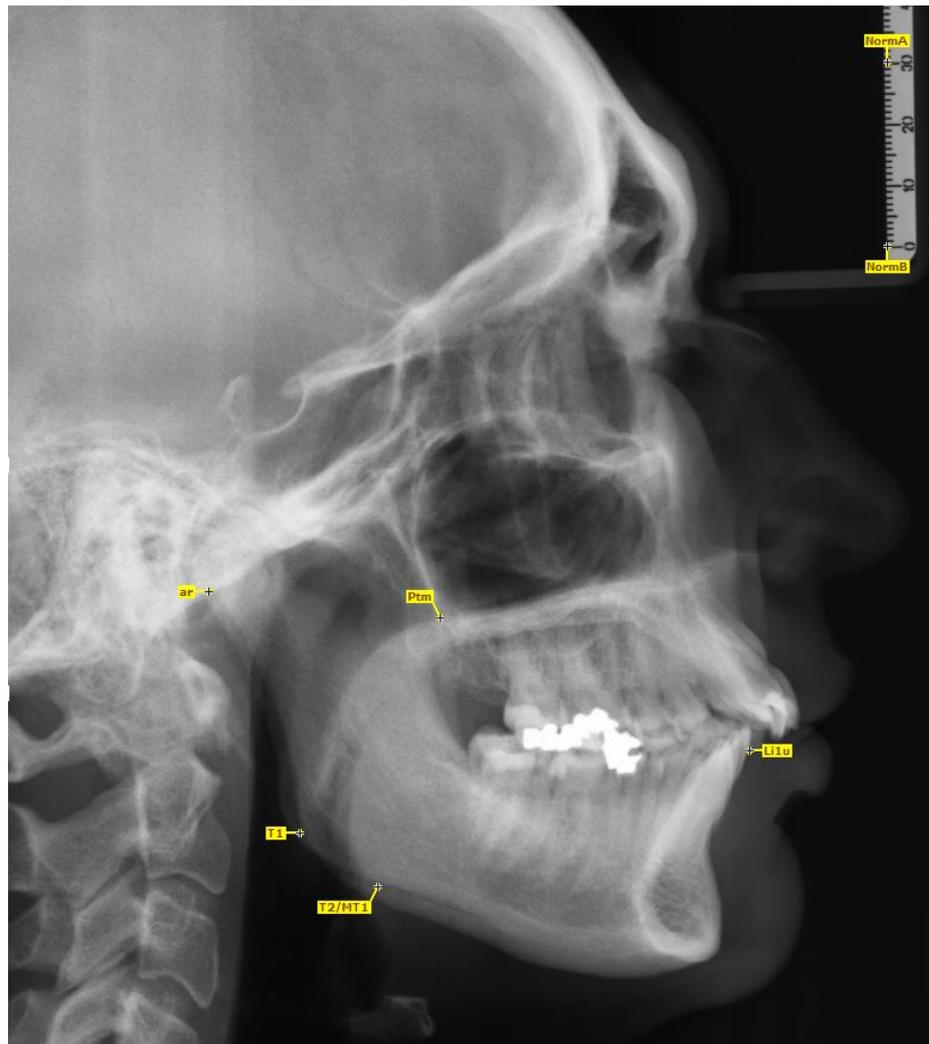


Abbildung 14: Übersicht der kephalometrischen Referenzpunkte, die ausschließlich zum Zeitpunkt T1 gesetzt wurden.

Tabelle 3: Übersicht der kephalometrischen Referenzpunkte, die zu den Zeitpunkten T2 und T3 gesetzt wurden.

Abkürzung	Referenzpunkt	Beschreibung
M6u (T2, T3)	Erster Molar des Unterkiefers	Mesiobukkale Höckerspitze des unteren ersten Molarens
Cau (T2, T3)	Kaudaler Ramus	Kaudalster Punkt des Unterkieferramus
Spp (T2, T3)	Spina nasalis posterior	Posteriorster Punkt der knöchernen Spina nasalis anterior in der Median-Sagittal-Ebene
Is1o-Is1u (T2, T3)	Inzision Mittelpunkt	Mittelpunkt der Mittelpunkte Is1o und Is1u



Abbildung 15: Übersicht der kephalometrischen Referenzpunkte, die ausschließlich zu den Zeitpunkten T2 und T3 gesetzt wurden.

2.4.3 Kephalmetrische Referenzlinien und -ebenen

Die kephalometrischen Referenzlinien (siehe Tabelle 4, Abbildung 16) und -ebenen (siehe Tabelle 5) wurden nur zu den Zeitpunkten T2 und T3 zur Datenanalyse konstruiert.

Tabelle 4: Kephalmetrische Referenzlinien.

Abkürzung	Beschreibung
NL (T ₂ , T ₃)	Nasallinie, Linie zwischen den Punkten Spa und Spp
NSL (T ₂ , T ₃)	Nasion-Sella-Linie, Linie zwischen den Punkten N und S
NA (T ₂ , T ₃)	Linie zwischen den Punkten N und A
NB (T ₂ , T ₃)	Linie zwischen den Punkten N und B
OK1 (T ₂ , T ₃)	Zahnachse als Linie zwischen den Punkten Is1o und Ap1o
UK1 (T ₂ , T ₃)	Zahnachse als Linie zwischen den Punkten Is1u und Ap1u
ML-Sag (T ₂ , T ₃)	Linie als Schnittpunkt der Ebenen ML und Sag
NMe (T ₂ , T ₃)	Linie zwischen den Punkten N und Me

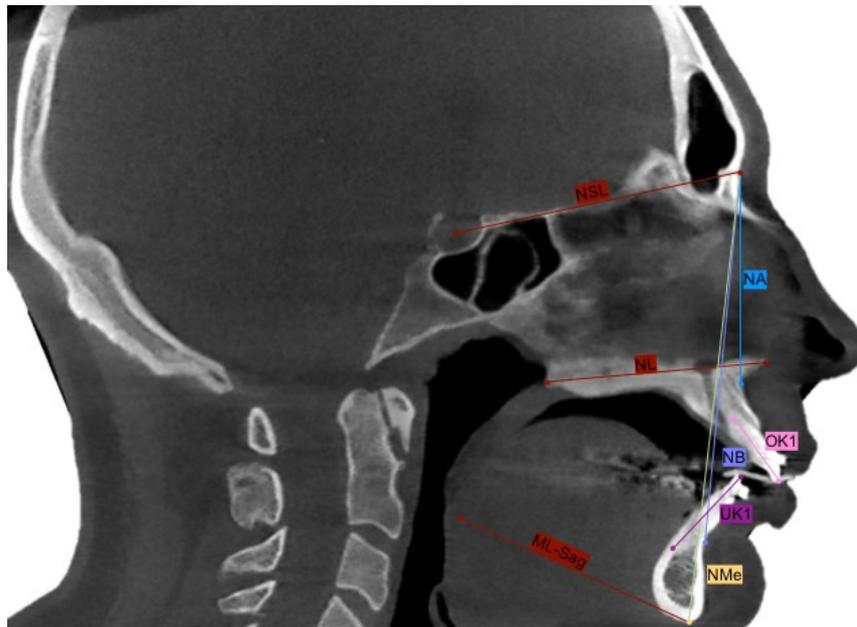
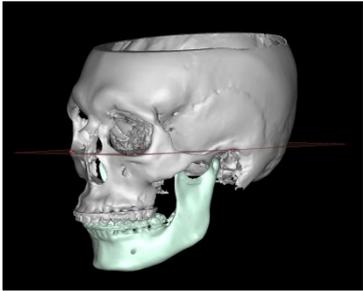
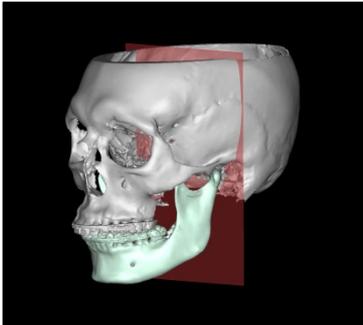
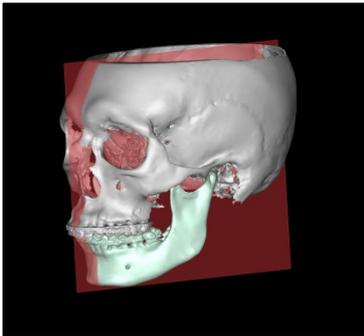
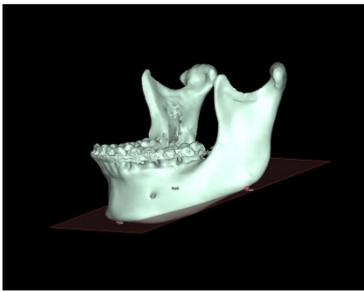
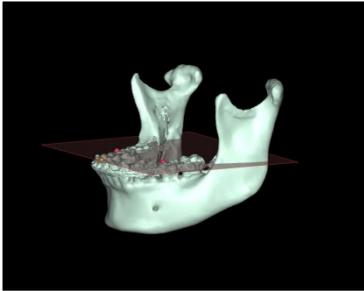


Abbildung 16: Kephalometrische Referenzlinien in lateraler Ansicht.

Tabelle 5: Kephalometrische Referenzebenen.

Abkürzung	Beschreibung	Abbildung
FH (τ_2, τ_3)	Frankfurter Horizontalebene, definiert durch die Punkte PoR, PoL und OrR	
Fr (τ_2, τ_3)	Frontalebene, senkrecht zur Ebene FH, verläuft durch die Punkte PoR und PoL	

Abkürzung	Beschreibung	Abbildung
Sag (τ_2, τ_3)	Sagittalebene, senkrecht zur Ebene FH und Fr, verläuft durch Punkt N	
ML (τ_2, τ_3)	Unterkieferebene, definiert durch die Punkte Me, CauR und CauL	
OcPu (τ_2, τ_3)	Okklusionsebene Unterkiefer, definiert durch die Punkte Is1u, M6uR und M6uL	
OcWits (τ_2, τ_3)	Okklusionsebene „Wits“, definiert durch die Punkte hPOcP_R, hPOcP_L und Is1o-Is1u	

2.4.4 Kephalometrische Messwerte

2.4.4.1 Kephalometrische Messwerte zur Beurteilung der Sagittalen

Im nachfolgenden Abschnitt werden die Messwerte zur Beurteilung der kieferorthopädischen Dekompensation in der Sagittalebene angegeben (siehe Tabelle 6).

Tabelle 6: Kephalometrische Messwerte zur Beurteilung der Sagittalen.

Abkürzung	Beschreibung	Normwert [Normbereich]	Literatur
„Wits“ [mm]	Abstand zwischen A- und B-Punkt auf die Okklusionsebene projiziert	0 [-2 – 2]	Jacobson (1975)
Overjet [mm]	sagittale Frontzahnstufe	2 [1 – 4]	Proffit et al. (1992)
OK1-NA [°]	Inklination des oberen Inzisivus zur NA-Linie	22 [19 – 25]	Steiner (1953)
OK1-NA [mm]	sagittale Position des anterioren oberen Inzisivus zur NA-Linie	4 [2 – 6]	Steiner (1953)
OK1-NL [°]	Inklination des oberen Inzisivus zur NL-Linie	70 [65 – 75]	Rakosi (1988)
UK1-NB [°]	Inklination des oberen Inzisivus zur NA-Linie	25 [22 – 28]	Steiner (1953)
UK1-NB [mm]	sagittale Position des anterioren unteren Inzisivus zur NB-Linie	4 [2 – 6]	Steiner (1953)
UK1-ML [°]	Inklination des unteren Inzisivus zum Mandibularplanum	90 [87 – 93]	Rakosi (1988)

2.4.4.2 Kephalometrische Messwerte zur Beurteilung der Vertikalen

In der nachfolgenden Tabelle 7 werden die Messwerte zur Beurteilung der kieferorthopädischen Dekompensation in der Vertikalen angegeben.

Tabelle 7: Kephalometrische Messwerte zur Beurteilung der vertikalen Frontzahnstellung.

Abkürzung	Beschreibung	Normwert [Normbereich]	Literatur
Overbite [mm]	vertikale Frontzahnstufe	2 [1 – 4]	Proffit et al. (1992)
ML-NL [°]	Winkel zwischen der Ebene bzw. Linie ML und der Linie NL	23,5 [20,5 – 26,5]	Nötzel und Schultz (2001)

2.4.4.3 Kephalometrische Messwerte zur Beurteilung der Transversalen

Die kephalometrischen Messwerte zur Beurteilung der transversalen Frontzahnstellung konnten aufgrund der dafür benötigten dreidimensionalen Informationen ausschließlich zu den Zeitpunkten T2 und T3 erhoben werden (Tabelle 8).

Tabelle 8: Kephalometrische Messwerte zur Beurteilung der transversalen Frontzahnstellung.

Abkürzung	Beschreibung	Normwert [Normbereich]	Literatur
Is1u-Sag [mm]	Abstand zwischen dem Mittelpunkt Is1u zur Ebene Sag, senkrecht zur Ebene Sag gemessen	0 [-2 – 2]	Haraguchi et al. (2002)
Me-Sag [mm]	Abstand zwischen dem Punkt Me zur Ebene Sag, senkrecht zur Ebene Sag gemessen	0 [-2 – 2]	Haraguchi et al. (2002)

2.5 Statistische Auswertung

Im Anschluss an die kephalometrische Auswertung der für die Studie ausgewerteten Bildaufnahmen (FRS, DVT) erfolgte die statistische Analyse mit dem Statistikprogramm SPSS Statistics (Version 22, IBM, New York, USA). Zur Überprüfung der Reliabilität der Messungen wurde sowohl ein *intra*- als auch ein *inter-rater agreement* nach dem Verfahren von Bland und Altman (1986) jeweils für das FRS und die DVT-Aufnahmen durchgeführt.

Für jede Messung wurde der Behandlungserfolg und die Behandlungseffizienz nach Proffit *et al.* (1992) und Potts *et al.* (2011) bewertet. Der Behandlungserfolg wurde erreicht, wenn der zum Zeitpunkt T3 gemessene Wert in den für diesen Messwert normwertigen Bereich fiel. Die Behandlungseffizienz wurde als Prozentzahl folgendermaßen errechnet:

$$\text{Behandlungseffizienz [\%]} = \frac{\text{Tatsächliche Änderung}}{\text{Notwendige Änderung}} \times 100.$$

Die notwendige Änderung wurde dabei definiert als die erforderliche Änderung des Wertes, um zum Zeitpunkt T3 im Normbereich zu liegen. Je näher dieser Wert an 100 % lag, desto effizienter erfolgte die Behandlung. Positive Werte zwischen 0 % und 100 % sprachen für eine Unterkorrektur gegenüber dem Normwert, wohingegen Werte über 100 % auf eine Überkorrektur hindeuteten. Negative Werte entstanden, wenn die Messungen weiter vom Idealwert entfernt waren als zu Behandlungsbeginn (T1).

Die Daten wurden als nicht normalverteilt angenommen, weshalb der Median und Interquartilsabstand (IQR) der kephalometrischen Messwerte angegeben wurde. Für die Analyse der Dekompensation wurden die Patienten in der Sagittalebene anhand der skelettalen Klassen II und III nach dem „Wits“-Wert (Jacobson 1975) zu T1 aufgeteilt. In der Vertikalebene erfolgte die Untersuchung der Patienten mit einem offenen Biss zum Zeitpunkt T1, der anhand des Winkels ML-NL > 26,5° bestimmt wurde. Zur Differenzierung zwischen symmetrischen und asymmetrischen Patienten wurde die Mentondeviation > 2 mm verwendet. Zur Beurteilung der Dekompensation in der Transversalebene wurde der absolute Wert der dentalen (Is1u-Sag) und skelettalen Mittellinienabweichung (Me-Sag) angegeben, sodass eine Aufhebung bei Abweichungen in entgegengesetzte Richtungen verhindert wurde.

Die Behandlungseffizienz zwischen den Patienten mit skelettaler Klasse II und III wurde mittels des Mann-Whitney-U-Testes für unabhängige Stichproben verglichen. Die Analyse der Subgruppen innerhalb der skelettalen Klasse II (II/1, II/2) erfolgte auf Grundlage der Schneidezahnneigung mit dem Kruskal-Wallis-Test. Der Zusammenhang zwischen der Schneidezahndekompensation zum Zeitpunkt T2 und des postoperativ (T3) erreichten „Wits“-Wertes wurde anhand von einem Streudiagramm und dem Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten untersucht. Das (globale) Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Die individuellen p-Werte wurden mit der Bonferroni-Holm-Korrektur verglichen.

3 Ergebnisse

3.1 Patientenspezifische Daten

Im Rahmen der vorliegenden longitudinalen, retrospektiven Studie wurden 52 erwachsene Patienten mit ausgeprägter skelettaler Dysgnathie und Indikation zur kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie untersucht. Das Patientenkollektiv wird in Tabelle 9 ausführlich charakterisiert.

Tabelle 9: Demografische und klinische Merkmale des Patientenkollektivs.

Proband		n = 52
männlich		n = 19
weiblich		n = 33
Alter (T1)		M = 25,3; SD = 8,1
Alter (T2)		M = 27,4; SD = 7,9
Alter (T3)		M = 27,5; SD = 7,9
Einteilung nach skelettaler Klasse		
skelettale Klasse II	(Wits > 2 mm)	n = 26
skelettale Klasse III	(Wits < -2 mm)	n = 26
Einteilung nach vertikaler Relation		
offen	(ML-NL > 26,5°)	n = 23
neutral	(ML-NL = 20,5° – 26,5°)	n = 16
tief	(ML-NL < 20,5°)	n = 13
Einteilung nach Asymmetrie (T2)		
symmetrisch	(Me-Sag < 2 mm)	n = 28
asymmetrisch	(Me-Sag > 2 mm)	n = 21
OP-Verfahren		
Le-Fort-I und BSSO		n = 41
isolierte Le-Fort-I		n = 3
isolierte BSSO		n = 8

3.2 Reliabilität der kephalometrischen Messungen

Zur Überprüfung der Reliabilität der kephalometrischen Strecken- und Winkelmessungen wurde sowohl ein *intra-* als auch ein *inter-rater agreement* durchgeführt, indem eine erneute stichprobenartige Auswertung der FRS und DVT-Aufnahmen von jeweils zehn Probanden im Programm OnyxCeph^{3TM} und ProPlan[®] CMF 3.0 erfolgte. Die Auswertung der Messungen wurde anhand des Verfahrens nach Bland und Altman (1986) durchgeführt. Die Streudiagramme in Abbildung 17 stellen beispielhaft die Bland-Altman-Plots des *intra-* und *inter-rater agreements* für den „Wits“-Wert dar. Die Differenzen der Messungen wurden in Abhängigkeit der gemessenen Durchschnittswerte als dunkelblaue Kreise abgebildet. Die *limits of agreement* (LoA) wurden aus dem Mittelwert der Differenzen und ihrer Standardabweichung gebildet und stellen das Konfidenzintervall dar. Je kleiner die LoA, desto präziser die kephalometrische Messung. Sowohl die positiven (LoA +) als auch die negativen LoA (LoA -) sind sehr niedrig und bestätigen somit eine präzise Reproduzierbarkeit der Ergebnisse. Der dunkelblaue Kreis, der in Unterpunkt a) außerhalb des LoA + liegt, weist beispielsweise nur eine niedrige Diskrepanz von 1 mm auf. In der Tabelle 10 und Tabelle 11 werden alle Werte der Reliabilitätsprüfungen aufgeführt. Der Mittelwert der Differenz aller Messungen (*MDiff*) lag bei $< 0,5$ mm bzw. $< 0,5^\circ$ und spricht für eine sehr hohe Übereinstimmung.

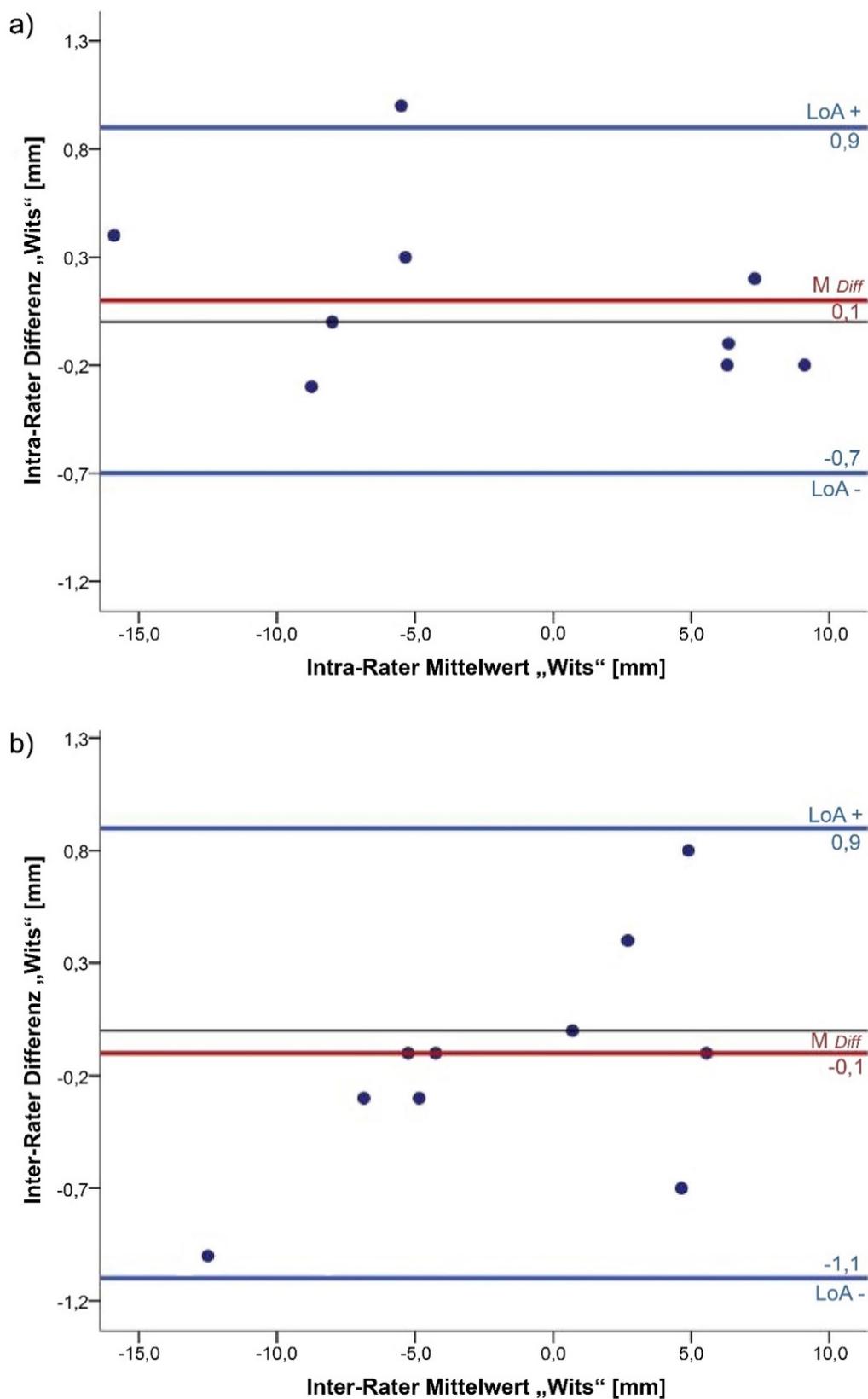


Abbildung 17: Bland-Altman-Plots zum *intra-* und *inter-rater agreement* für die Messung „Wits“-Wert.

Tabelle 10: Werte der Messungen des *intra-* und *inter-rater agreements* der DVT-Aufnahmen.

Messung	Agreement	MDiff	SD	LoA+	LoA-
Overjet [mm]	Intra	0,1	0,3	0,7	-0,5
	Inter	-0,1	0,3	0,5	-0,7
Overbite [mm]	Intra	-0,3	0,4	0,5	-1,1
	Inter	-0,4	0,4	0,4	-1,2
Me-Sag [mm]	Intra	0,1	0,4	0,9	-0,7
	Inter	0,2	0,7	1,6	-1,2
Is1u-Sag [mm]	Intra	-0,1	0,6	1,1	-1,3
	Inter	0	0,5	1,0	-1,0
Is1o-Sag [mm]	Intra	-0,1	0,4	0,7	-0,9
	Inter	-0,1	0,5	0,9	-1,1
OK1-NA [mm]	Intra	0	0,4	0,8	-0,8
	Inter	-0,1	0,6	1,1	-1,3
UK1-NB [mm]	Intra	0	0,3	0,6	-0,6
	Inter	-0,3	0,6	0,9	-1,5
Wits [mm]	Intra	0,1	0,4	0,9	-0,7
	Inter	-0,1	0,5	0,9	-1,1
ML-NL [°]	Intra	0,1	0,4	0,9	-0,7
	Inter	-0,1	0,7	1,3	-1,5
OK1-NA [°]	Intra	0,1	0,6	1,3	-1,1
	Inter	0,2	0,6	1,4	-1,0
OK1-NL [°]	Intra	-0,1	0,8	1,5	-1,7
	Inter	0	0,3	0,6	-0,6
UK1-NB [°]	Intra	0,1	0,4	0,9	-0,7
	Inter	-0,3	0,8	1,3	-1,9
UK1-ML [°]	Intra	-0,2	0,6	1,0	-1,4
	Inter	-0,1	0,9	1,7	-1,9

Tabelle 11: Werte der Messungen des *intra-* und *inter-rater agreements* der FRS.

Messung	Agreement	MDiff	SD	LoA+	LoA-
Overjet [mm]	Intra	-0,2	0,5	0,8	-1,2
	Inter	0	0,4	0,8	-0,8
Overbite [mm]	Intra	-0,3	0,4	0,5	-1,1
	Inter	-0,3	0,4	0,5	-1,1
OK1-NA [mm]	Intra	-0,4	0,7	1,0	-1,8
	Inter	-0,1	0,9	1,7	-1,9
UK1-NB [mm]	Intra	0	0,6	1,2	-1,2
	Inter	0	0,5	1,0	-1,0
Wits [mm]	Intra	-0,2	0,7	1,2	-1,6
	Inter	0	0,7	1,4	-1,4
ML-NL [°]	Intra	-0,1	0,6	1,1	-1,3
	Inter	0,1	0,5	1,1	-0,9
OK1-NA [°]	Intra	0,1	0,4	0,9	-0,7
	Inter	0,1	0,6	1,3	-1,1
OK1-NL [°]	Intra	0,1	0,7	1,5	-1,3
	Inter	0	0,8	1,6	-1,6
UK1-NB [°]	Intra	-0,1	0,5	0,9	-1,1
	Inter	-0,1	0,8	1,5	-1,7
UK1-ML [°]	Intra	0,1	0,5	1,1	-0,9
	Inter	-0,1	0,8	1,5	-1,7

3.3 Kephalometrische Messwerte in der Sagittalen

In Tabelle 12 werden der Normwert, der Median, der IQR sowie der Behandlungserfolg des jeweiligen kephalometrischen dentalen Messwertes für die skelettalen Klasse II Patienten zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3 dargestellt. Der Behandlungserfolg wurde erreicht, wenn der Messwert zum Zeitpunkt T3 innerhalb des Normbereiches lag.

Tabelle 12: Median und IQR der Messwerte in der Sagittalen bei initial skelettaler Klasse II (n = 26) zu T1 (Behandlungsbeginn), T2 (präoperativ) und T3 (postoperativ) sowie der Normwert und Behandlungserfolg zu T3 (n = Anzahl der Patienten, bei denen der Messwert zu T3 im normwertigen Bereich lag).

Messwerte	Normwert	T1	T2	T3	Behandlungserfolg zu T3 n (%)
	[Bereich]	Median (IQR)	Median (IQR)	Median (IQR)	
Klasse II n = 26					
OK1-NA [°]	22 [19 – 25]	25,8 (14,3)	18,5 (9,7)	15,2 (9,8)	7 (26,9 %)
OK1-NA [mm]	4 [2 – 6]	6,3 (5,8)	2,4 (4,6)	2,2 (4,4)	13 (50 %)
OK1-NL [°]	70 [65 – 75]	66,1 (17,7)	73,3 (9,6)	73 (10,2)	12 (46,2 %)
UK1-NB [°]	25 [22 – 28]	26,2 (9,3)	25,9 (8,5)	29 (11,1)	7 (26,9 %)
UK1-NB [mm]	4 [2 – 6]	5,7 (4,7)	5,5 (4,1)	6,3 (4)	13 (50 %)
UK1-ML [°]	90 [87 – 93]	96,4 (11)	97,8 (11)	98,7 (14,4)	6 (23,1 %)
Overjet [mm]	2 [1 – 4]	8,8 (4,8)	9 (2,4)	2,9 (1,2)	21 (80,8 %)
„Wits“ [mm]	0 [-2 – 2]	4 (3,1)	5,3 (4,3)	-1,4 (4,1)	12 (46,2 %)

Die Frontzähne des Unterkiefers der skelettalen Klasse II Patienten befanden sich zum Zeitpunkt T1 in einer protrudierten Achsstellung (UK1-NB [°], UK1-ML[°]) vor ihrer knöchernen Basis (UK1-NB [mm]). Auch die Frontzähne des Oberkiefers befanden sich vor ihrer knöchernen Basis (OK1-NA [mm]). Der Winkel OK1-NA war geringfügig vergrößert, während sich der Winkel OK1-NL im unteren Normbereich befand und ebenfalls für protrudierte Frontzähne spricht. Im Rahmen der präoperativen kieferorthopädischen Vorbehandlung (T2) wurden die Schneidezähne des Oberkiefers retrudiert (OK1-NA [°], OK1-NL [°]) und körperlich auf ihre knöchernen Basis (OK1-NA [mm]) bewegt. Die Achsstellung

und körperliche Position der Schneidezähne des Unterkiefers hingegen wurden nur sehr geringfügig verändert. Sowohl der Winkel als auch die Strecke UK1-NB verkleinerten sich um weniger als $0,4^\circ$ bzw. 0,4 mm. Der Winkel UK1-ML zeigte sogar eine weitere Protrusion der Unterkieferfrontzähne.

Der *overjet* und der „Wits“-Wert waren initial (T1) vergrößert und konnten postoperativ (T3) in den normwertigen Bereich korrigiert werden. Der normwertige, jedoch negative Median des „Wits“-Wertes spricht insgesamt für eine operative Überkorrektur der Patienten. Der Behandlungserfolg zeigt, dass die Schneidezähne durch die chirurgischen Kieferbewegungen (T2 zu T3) häufiger eine korrekte körperliche Positionierung auf ihrer Basis erreichten, als eine korrekte Achsstellung. Der *overjet* konnte für einen Großteil der Patienten intraoperativ verkleinert werden und wurde bei 80,8 % der Patienten erfolgreich korrigiert.

Die dentalen und skelettalen Veränderungen der Frontzahninklination bei skelettaler Klasse II im Rahmen der kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie werden exemplarisch zu allen drei Zeitpunkten (T1, T2, T3) in Abbildung 18 dargestellt.

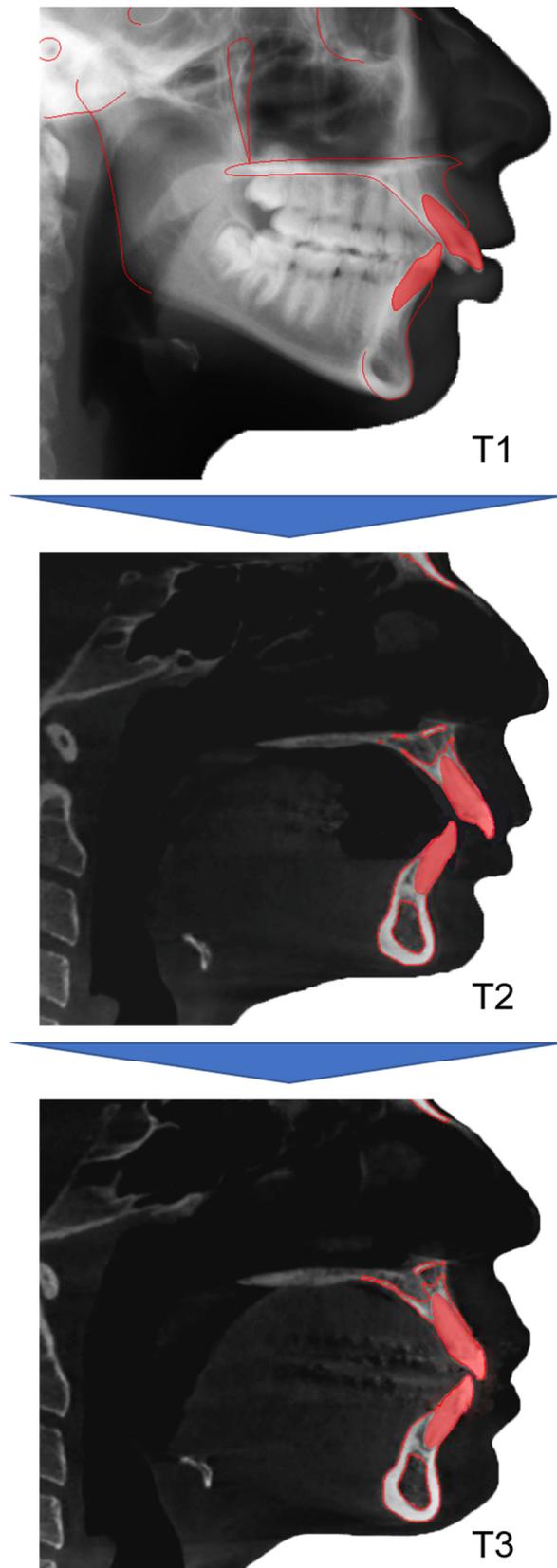


Abbildung 18: Veränderungen der Frontzahninklination von T1 zu T2 zu T3 bei skelettaler Klasse II.

Anhand des „Wits“-Wertes konnte das Ausmaß der skelettalen Korrektur klassifiziert werden. Dabei zeigte sich postoperativ, dass 12 von 26 Patienten (46,2 %) in die skelettale Klasse I operiert werden konnten, während neun von 26 Patienten (34,6 %) in eine skelettale Klasse III überkorrigiert wurden und fünf Patienten (19,2 %) in ihrer skelettalen Klasse II verblieben (siehe Abbildung 19).

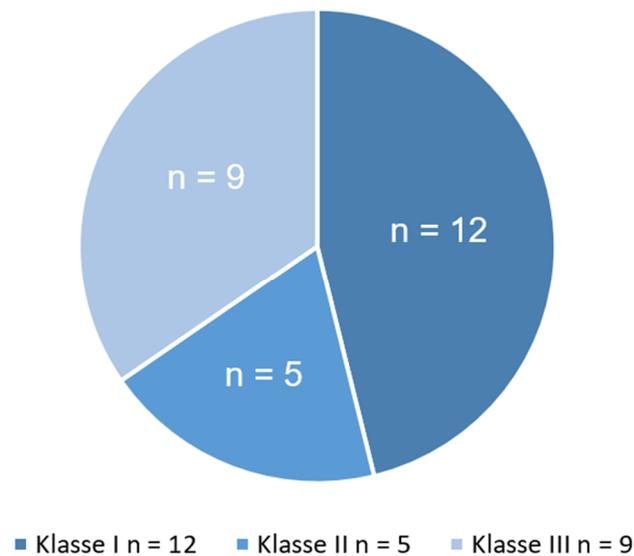


Abbildung 19: Postoperative Häufigkeiten der skelettalen Klassen bei initialer Klasse II.

Analog zu Tabelle 12 können in der nachfolgenden Tabelle 13 der Normwert, der Median und der IQR sowie der Behandlungserfolg des jeweiligen kephalometrischen dentalen Messwertes für die skelettale Klasse III Patienten zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3 abgelesen werden. Der Behandlungserfolg wurde erreicht, wenn der zum Zeitpunkt T3 gemessene Wert in den für diesen Messwert normwertigen Bereich fiel.

Tabelle 13: Median und IQR der Messwerte in der Sagittalen bei initial skelettaler Klasse III (n = 26) zu T1 (Behandlungsbeginn), T2 (präoperativ) und T3 (postoperativ) sowie der Normwert und Behandlungserfolg zu T3 (n = Anzahl der Patienten, bei denen der Messwert zu T3 im normwertigen Bereich lag).

Messwerte	Normwert	T1	T2	T3	Behandlungserfolg n (%)
	[Bereich]	Median (IQR)	Median (IQR)	Median (IQR)	
Klasse III n = 26					
OK1-NA [°]	22 [19 – 25]	30,2 (15,9)	26,6 (12,2)	20 (9,4)	9 (34,6 %)
OK1-NA [mm]	4 [2 – 6]	5,9 (4,9)	5,6 (2,1)	3,4 (3,2)	15 (57,7 %)
OK1-NL [°]	70 [65 – 75]	62,9 (11,3)	64,3 (15)	65,6 (9,6)	9 (34,6 %)
UK1-NB [°]	25 [22 – 28]	22,1 (8,6)	25,4 (8,5)	22,3 (9,3)	6 (23,1 %)
UK1-NB [mm]	4 [2 – 6]	3,9 (3,9)	5 (3,2)	3,9 (2,7)	20 (76,9 %)
UK1-ML [°]	90 [87 – 93]	82,8 (12,6)	91,2 (12,2)	90,2 (14,7)	9 (34,6 %)
Overjet [mm]	2 [1 – 4]	-4,4 (7,1)	-2,9 (4,3)	3,2 (1,5)	20 (76,9 %)
Wits [mm]	0 [-2 – 2]	-9,2 (7,5)	-7,3 (7,6)	-3,3 (3,4)	9 (34,6 %)

Die Patienten mit skelettaler Klasse III zeigten im Oberkiefer zu Behandlungsbeginn (T1) protrudierte Schneidezähne (OK1-NA [°], OK1-NL [°]) in körperlich protrusiver Position vor ihrer knöchernen Basis (OK1-NA [mm]), die durch die präoperative kieferorthopädische Behandlung zu T2 retrokliniert wurden. Die unteren Frontzähne befanden sich vor kieferorthopädischer Intervention zu T1 in einer retrudierten Achsstellung (UK1-NB [°], UK1-ML [°]) und in einer nahezu idealen körperlichen Position auf ihrer Basis (UK1-NB [mm]). Diese wurden während der kieferorthopädischen Dekompensation protrudiert, was zu einer Vergrößerung der Werte führte. Die zu T1 deutlich verkleinerten

Werte des *overjets* und „Wits“-Wertes wurden präoperativ vergrößert und beide Werte näherten sich postoperativ (T3) dem jeweiligen Normwert an. Der Behandlungserfolg ist insgesamt vergleichbar mit dem der skelettalen Klasse II Patienten. Auch die skelettalen Klasse III Patienten erreichten insbesondere im Unterkiefer häufiger normwertige körperliche Positionen als Achsneigungen der Frontzähne.

Analog zu Abbildung 18 werden die dentalen und skelettalen Veränderungen der Frontzahninklination bei skelettaler Klasse III zu den Zeitpunkten T1, T2 und T3 exemplarisch in Abbildung 20 dargestellt.

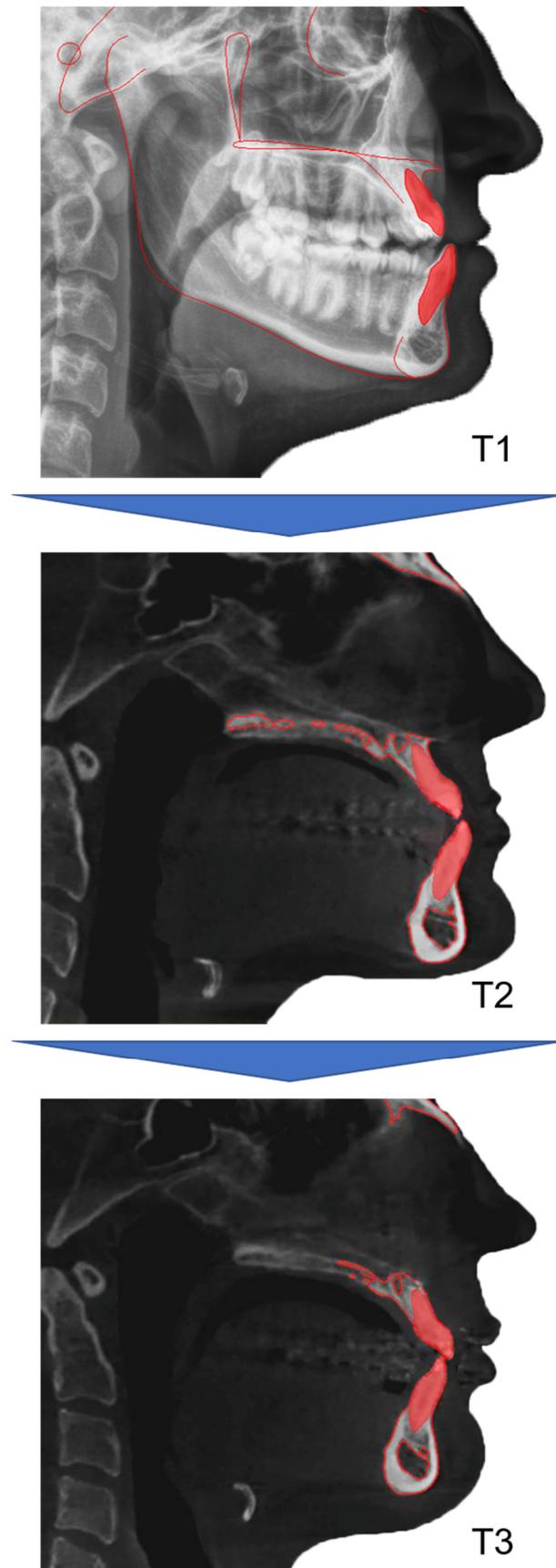


Abbildung 20: Veränderungen der Frontzahninklination von T1 zu T2 zu T3 bei skelettaler Klasse III.

Eine skelettale Klasse I (gemessen anhand des „Wits“-Wertes) erreichten bei normalem *overjet* neun von 26 Patienten (34,6 %), während die restlichen 17 Patienten (65,4 %) in einer skelettalen Klasse III verblieben (siehe Abbildung 21).

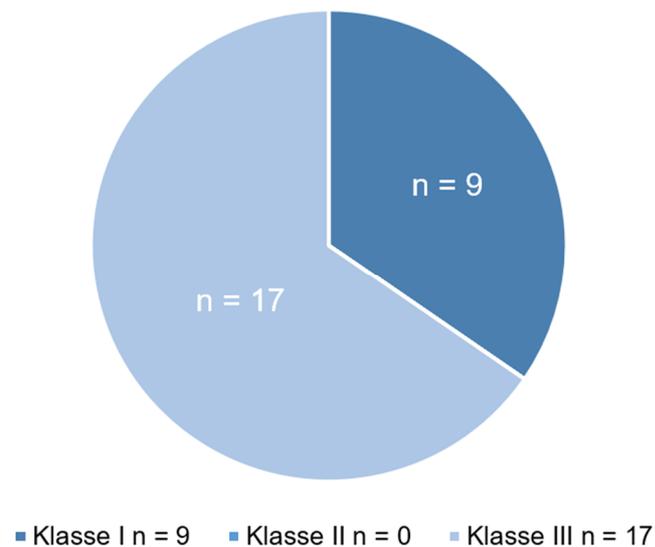


Abbildung 21: Postoperative Häufigkeiten der skelettalen Klassen bei initialer Klasse III.

Die Behandlungseffizienz unterschied sich zwischen den skelettalen Klasse II und III Patienten signifikant in Bezug auf die chirurgischen Veränderungen von T2 zu T3. Die skelettale Kieferdiskrepanz („Wits“-Wert) wurde bei den skelettalen Klasse II Patienten signifikant effizienter korrigiert als bei Patienten mit einer skelettalen Klasse III. Der *overjet* hingegen wurde bei den skelettalen Klasse III Patienten signifikant effizienter korrigiert. Auf der Ebene der dentoalveolären Veränderungen zeigte sich eine höhere Behandlungseffizienz in der Einstellung der Oberkiefer-Inzisiven bei skelettaler Klasse II, wohingegen sich bei skelettaler Klasse III eine höhere Effizienz in der Dekompensation der Unterkiefer-Inzisiven darstellte. Allerdings erreichte keine Variable im Vergleich der Zeitpunkte T1 und T2 ein signifikantes Niveau (siehe Tabelle 14).

Tabelle 14: Vergleich der Behandlungseffizienz (%) der sagittalen Dekompensation von T1 zu T2 (kieferorthopädisch) und von T2 zu T3 (chirurgisch) bei skelettaler Klasse II (n = 26) und III (n = 26) (* = signifikant).

Messwerte	Behandlungseffizienz (%)		p-Wert
	Klasse II (n = 26)	Klasse III (n = 26)	
	Median (IQR)	Median (IQR)	
<u>Von T1 zu T2: kieferorthopädische Veränderung</u>			
OK1-NA [°]	116 (117)	37 (88)	0,52
OK1-NA [mm]	64 (142)	50 (146)	1
OK1-NL [°]	62 (104)	3 (115)	0,403
UK1-NB [°]	50 (166)	73 (102)	1
UK1-NB [mm]	29 (118)	45 (158)	1
UK1-ML [°]	0 (99)	38 (41)	0,286
<u>Von T2 zu T3: chirurgische Veränderung</u>			
Overjet [mm]	86 (18)	118 (34)	< 0,001*
„Wits“ [mm]	85 (85)	57 (38)	0,013*

Des Weiteren wurden die Patienten innerhalb ihrer skelettalen Klasse unterteilt in solche, deren Werte sich zum Normwert hinbewegten und in diejenigen, deren Werte sich in die entgegengesetzte Richtung veränderten (siehe Tabelle 15 und Tabelle 16). Eine Überkorrektur hat stattgefunden, wenn die Werte über den Normwert hinaus korrigiert wurden: Während der *overjet* bei Patienten mit skelettaler Klasse III häufig überkorrigiert wurde, überschritt keiner der Patienten mit einer skelettalen Klasse II das Ideal. Der „Wits“-Wert wurde bei skelettalen Klasse III Patienten häufiger in Richtung des Ideals berichtigt als bei Patienten mit skelettaler Klasse II. Die Mehrzahl der Patienten zeigte eine kieferorthopädische Korrektur in Richtung der idealen Schneidezahnstellung und

wurden oft über den Normwert hinaus korrigiert. Die häufigste kieferorthopädische Überkorrektur wurde bei Patienten mit skelettaler Klasse II in Bezug auf die Neigung der oberen Schneidezähne (OK1-NA [°]) beobachtet (siehe Abbildung 22).

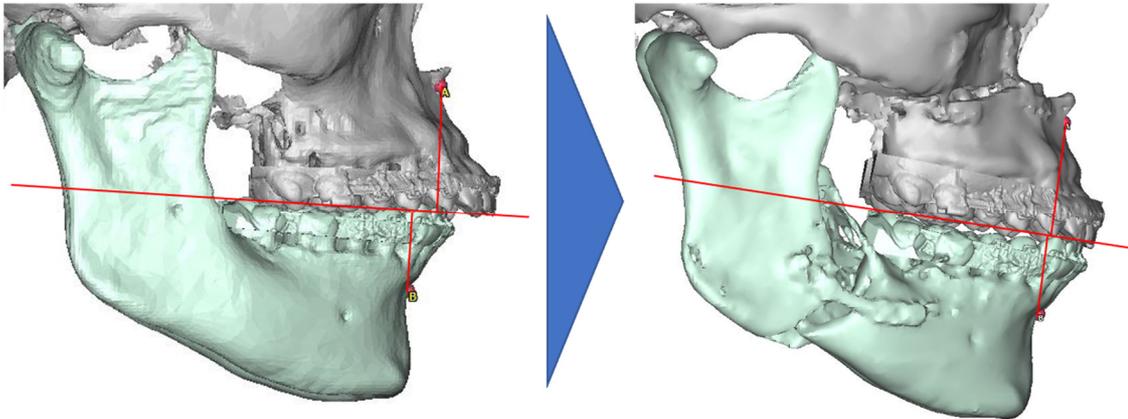


Abbildung 22: Postoperative Überkorrektur des „Wits“-Wertes und des OK1-NA [°] in der Sagittalen bei initial skelettaler Klasse II im Vergleich zwischen präoperativ (links) und postoperativ (rechts).

Tabelle 15: Behandlungsrichtung der sagittalen Dekompensation von T1 zu T2 (kieferorthopädisch) und von T2 zu T3 (chirurgisch) für die skelettale Klasse II (n = 26).

Messwerte	zum Ideal	entfernt vom Ideal	Überkorrektur
	n (%)	n (%)	n (%)
Klasse II: von T1 zu T2			
n = 26			
OK1-NA [°]	8 (30,8 %)	4 (15,4 %)	14 (53,8 %)
OK1-NA [mm]	10 (38,5 %)	6 (23,1 %)	10 (38,5 %)
OK1-NL [°]	11 (42,3 %)	5 (19,2 %)	10 (38,5 %)
UK1-NB [°]	10 (38,5 %)	7 (26,9 %)	9 (34,6 %)
UK1-NB [mm]	11 (42,3 %)	10 (38,5 %)	5 (19,2 %)
UK1-ML [°]	9 (34,6 %)	12 (46,2 %)	5 (19,2 %)

Messwerte	zum Ideal	entfernt vom Ideal	Überkorrektur
	n (%)	n (%)	n (%)
<u>Klasse II: von T2 zu T3</u>			
n = 26			
Overjet [mm]	26 (100 %)	0 (0 %)	0 (0 %)
„Wits“ [mm]	12 (46,2 %)	2 (7,7 %)	12 (46,2 %)

Tabelle 16: Behandlungsrichtung der sagittalen Dekompensation für die skelettale Klasse III (n = 26) von T1 zu T2 (kieferorthopädisch) und von T2 zu T3 (chirurgisch).

Messwerte	zum Ideal	entfernt vom Ideal	Überkorrektur
	n (%)	n (%)	n (%)
<u>Klasse III: von T1 zu T2</u>			
n = 26			
OK1-NA [°]	14 (53,8 %)	7 (26,9 %)	5 (19,2 %)
OK1-NA [mm]	12 (46,2 %)	7 (26,9 %)	7 (26,9 %)
OK1-NL [°]	9 (34,6 %)	13 (50 %)	4 (15,4 %)
UK1-NB [°]	13 (50 %)	5 (19,2 %)	8 (30,8 %)
UK1-NB [mm]	10 (38,5 %)	10 (38,5 %)	6 (23,1 %)
UK1-ML [°]	23 (88,5 %)	1 (3,8 %)	2 (7,7 %)
<u>Klasse III: von T2 zu T3</u>			
n = 26			
Overjet [mm]	4 (15,4 %)	1 (3,8 %)	21 (80,8 %)
„Wits“ [mm]	21 (80,8 %)	1 (3,8 %)	4 (15,4 %)

Eine Untergruppenanalyse innerhalb der skelettalen Klasse II mit der Unterscheidung zwischen retrudierten, orthoaxialen und protrudierten Schneidezähnen ergab, dass die anfängliche Schneidezahnneigung diese Überkorrektur jedoch nicht beeinflusste (siehe Tabelle 17).

Tabelle 17: Vergleich der Behandlungseffizienz der sagittalen Dekompensation von T1 zu T2 (kieferorthopädisch) und von T2 zu T3 (chirurgisch) zwischen retro-, norm-, und proklinierten Schneidezähnen bei skelettaler Klasse II (n = 26).

Messwerte	Behandlungseffizienz (%)			p-Wert
	Retrudierte Schneidezähne n = 7	Norminklinierte Schneidezähne n = 6	Protrudierte Schneidezähne n = 13	
	Median (IQR)	Median (IQR)	Median (IQR)	
<u>Von T1 zu T2</u> n = 26				
OK1-NA [°]	40 (85)	144 (1114)	116 (138)	0,73
OK1-NA [mm]	10 (126)	51 (398)	133 (107)	1
OK1-NL [°]	41 (87)	11 (683)	107 (116)	1
<u>Von T2 zu T3</u> n = 26				
Overjet [mm]	75 (28)	87 (35)	86 (14)	1
„Wits“ [mm]	78 (87)	118 (200)	86 (82)	1

Die Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten der dentalen Messwerte haben gezeigt, dass kein Zusammenhang zwischen der Schneidezahnneigung und dem erreichten postoperativen „Wits“-Wert bestand (siehe Tabelle 18). Die einzige signifikante Variable, die den „Wits“-Wert zu T3 beeinflusste, war der präoperative „Wits“-Wert zu T2 (siehe Abbildung 23).

Tabelle 18: Spearman-Rangkorrelationskoeffizienten (r) und p -Werte zur Darstellung der Korrelation zwischen den Messwerten zu T2 und dem „Wits“-Wert zu T3 (* = signifikant).

Messwerte	Klasse II (n = 26)		Klasse III (n = 26)	
	r	p	r	p
OK1-NA [°]	-0,125	0,542	-0,071	0,731
OK1-NA [mm]	-0,387	0,051	-0,239	0,239
OK1-NL [°]	-0,201	0,326	0,189	0,355
UK1-NB [°]	-0,062	0,762	0,25	0,217
UK1-NB [mm]	-0,06	0,771	0,358	0,073
UK1-ML [°]	0,159	0,436	0,387	0,051
Wits [mm]	0,634	0,001*	0,555	0,003*

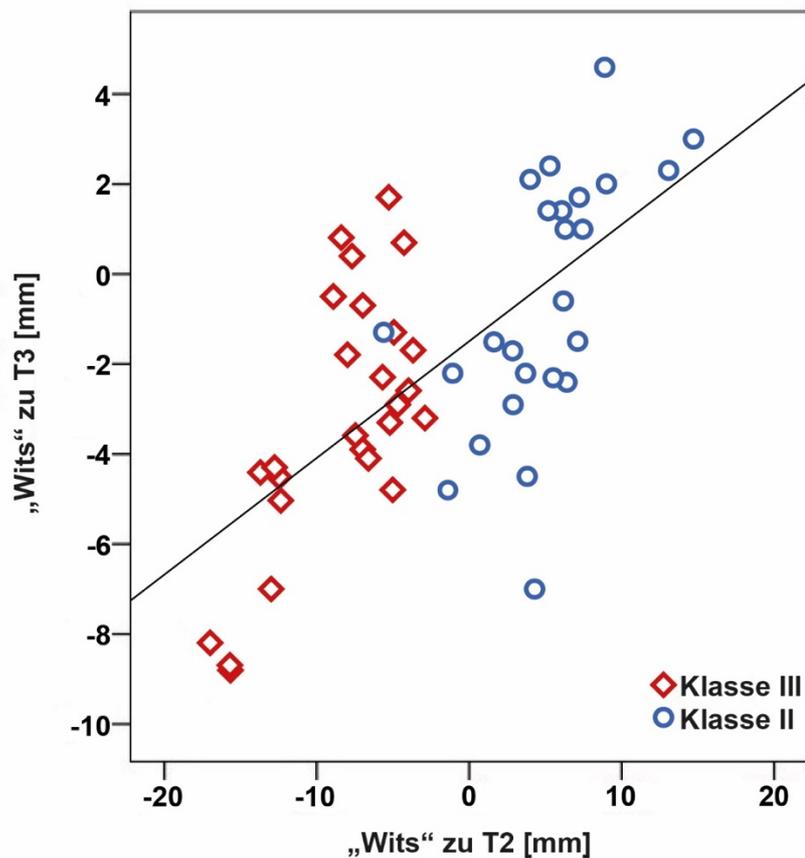


Abbildung 23: Streudiagramm zur Darstellung des signifikanten Faktors „Wits“-Wert zu T2 zur Beeinflussung des „Wits“-Wertes zu T3.

3.4 Kephalometrische Messwerte in der Vertikalen

Die präoperative kieferorthopädische Dekompensation in der Vertikalen wurde anhand der 23 initial offen konfigurierten Patienten ($ML-NL [^\circ] > 26,5^\circ$) analysiert und ist in Tabelle 19 zusammengefasst. Die dentale Korrektur des offenen Bisses (*overbite*) war im Vergleich zur skelettalen Korrektur (ML-NL) erfolgreicher. Postoperativ erreichten 16 der hyperdivergenten Patienten einen Behandlungserfolg bezüglich der Korrektur des *overbites*, obwohl dieser entgegen des Behandlungsplanes von T1 zu T2 vergrößert wurde. Bei lediglich drei der 23 Patienten wurde der Winkel ML-NL erfolgreich korrigiert und 18 Patienten verblieben in einer offenen skelettalen Konfiguration (siehe Abbildung 24). Dennoch verkleinerte sich der Winkel ML-NL von T1 zu T3, was wiederum insgesamt auf eine leichte Schließung des hyperdivergenten Bisses hinwies.

Tabelle 19: Median und IQR der Messwerte in der Vertikalen zu T1 (Behandlungsbeginn), T2 (präoperativ) und T3 (postoperativ) sowie der Normwert und Behandlungserfolg (= Messwert zu T3 im normwertigen Bereich) bei initial offenem Biss (n = 23).

Messwerte	Normwert [Bereich]	T1 Median (IQR)	T2 Median (IQR)	T3 Median (IQR)	Behandlungs- erfolg n (%)
n = 23					
<i>Overbite</i> [mm]	2 [1 – 4]	-1,2 (4,3)	0,5 (2,1)	1,6 (1,4)	16 (69,6 %)
ML-NL [°]	23,5 [20,5 – 26,5]	34,1 (7,3)	34,8 (5,1)	29 (6,0)	3 (13 %)

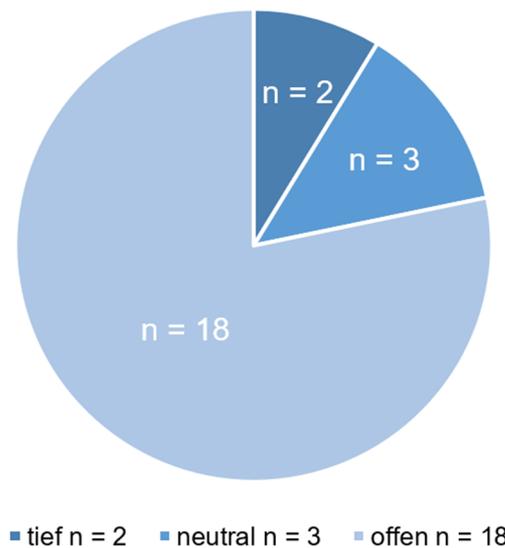


Abbildung 24: Postoperative Häufigkeiten der vertikalen Konfiguration bei initial offenem Biss.

Bei Betrachtung der Behandlungsrichtung zum Ideal fällt auf, dass über die Hälfte der Patienten sowohl kieferorthopädisch (T1 zu T2) als auch chirurgisch (T2 zu T3) in Richtung des Normwertes therapiert wurden (siehe Tabelle 20). Kieferorthopädisch wurde der Winkel ML-NL bei keinem der 23 Patienten überkorrigiert. Hingegen wurde der dentale Parameter *overbite* bei drei Patienten überkorrigiert (13 %). Kieferchirurgisch wurden über 20 % der Patienten sowohl dental als auch skelettal überkorrigiert (siehe Abbildung 25).

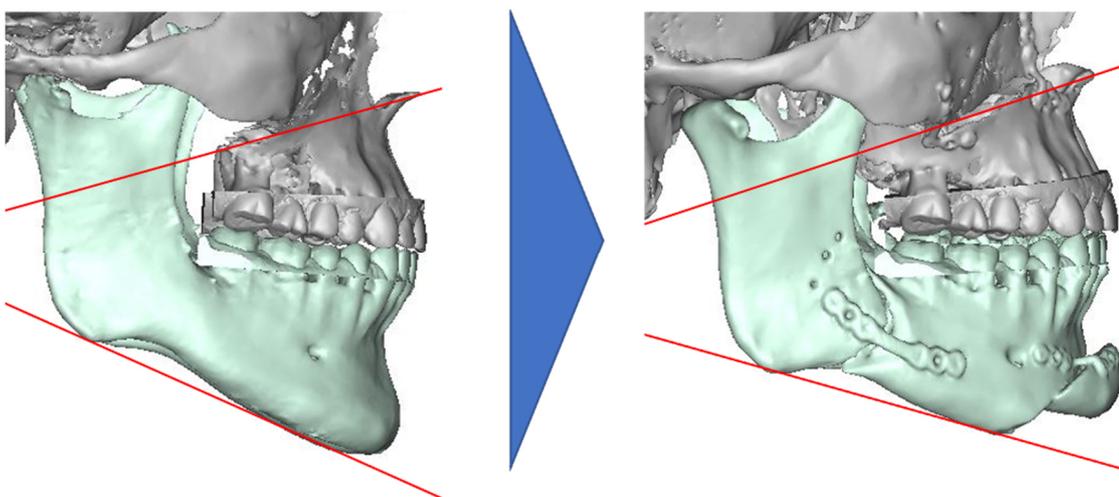


Abbildung 25: Postoperative Überkorrektur des ML-NL [°] in der Vertikalen bei initial skelettal offener Konfiguration im Vergleich zwischen präoperativ (links) und postoperativ (rechts).

Tabelle 20: Behandlungsrichtung der vertikalen Dekompensation bei Patienten mit offener skelettaler Konfiguration (n = 23) von T1 zu T2 (kieferorthopädisch) und von T2 zu T3 (chirurgisch).

Messwerte	Behandlungs- effizienz (%)	zum Ideal	entfernt vom Ideal	Überkorrektur
	Median (IQR)	n (%)	n (%)	n (%)
<u>von T1 zu T2</u> n = 23				
Overbite [mm]	55 (94)	14 (60,9 %)	6 (26,1 %)	3 (13 %)
ML-NL [°]	5 (28)	16 (69,6 %)	7 (30,4 %)	0 (0 %)
<u>von T2 zu T3</u> n = 23				
Overbite [mm]	77 (91)	15 (65,2 %)	2 (8,7 %)	6 (26,1 %)
ML-NL [°]	56 (54)	16 (69,6 %)	2 (8,7 %)	5 (21,7 %)

3.5 Kephalometrische Messwerte in der Transversalen

Die Untersuchung der dentalen (Is1u-Sag) und skelettalen (Me-Sag) Dekompensation in der Transversalen erfolgte anhand von 49 Patienten. Die Einteilung der Symmetrie- und Asymmetriegruppen erfolgte anhand der Messung der Abweichung des Mentons. Bei den 28 Patienten in der Symmetriegruppe betrug sie weniger als 2 mm, wohingegen die restlichen 21 Patienten, bei denen die Abweichung des Mentons mehr als 2 mm betrug, der Asymmetriegruppe zugeteilt wurden (siehe Tabelle 21). In beiden Gruppen war die dentale Mittellinienkorrektur (Is1u-Sag) erfolgreicher als die skelettale Mittellinienkorrektur (Me-Sag). In der Symmetriegruppe wichen die dentalen (Is1u-Sag) und skelettalen (Me-Sag) Messungen zu T2 kaum voneinander ab und ein größerer Behandlungserfolg wurde beobachtet. Die Patienten der Asymmetriegruppe hingegen zeigten größere Diskrepanzen zwischen den beiden Messungen. Nur vier der 21 Patienten konnten in dieser Gruppe skelettal (Me-Sag) erfolgreich therapiert werden.

Tabelle 21: Median und IQR der Messwerte in der Transversalen zu T1 (Behandlungsbeginn), T2 (präoperativ) und T3 (postoperativ) sowie der Normwert und Behandlungserfolg (= Messwert zu T3 im normwertigen Bereich) (n = 49).

Messwerte	Referenz	T2	T3	Behandlungserfolg
	Ideal [Bereich]	Median (IQR)	Median (IQR)	n (%)
<u>Symmetrisch</u>				
n = 28				
Is1u-Sag [mm]	0 [0 – 2]	0,9 (1,1)	0,9 (1,5)	22 (79 %)
Me-Sag [mm]	0 [0 – 2]	0,6 (0,7)	1,5 (2)	20 (71 %)
Me-Is1u [mm]	0 [0 – 2]	0,9 (1,1)	1,3 (1,3)	23 (82 %)
<u>Asymmetrisch</u>				
n = 21				
Is1u-Sag [mm]	0 [0 – 2]	2,8 (3,1)	1,5 (1,7)	14 (67 %)
Me-Sag [mm]	0 [0 – 2]	5 (3,7)	3,2 (2,2)	4 (19 %)
Me-Is1u [mm]	0 [0 – 2]	1,9 (2,8)	1,5 (1,6)	12 (57 %)

In Abbildung 26 werden die postoperativen Häufigkeiten von asymmetrischen und symmetrischen Patienten dargestellt. Von den 21 Patienten, die präoperativ der Asymmetriegruppe zugeteilt wurden, verblieben postoperativ noch 17 Patienten in dieser, während 32 der Symmetriegruppe zugeteilt wurden.

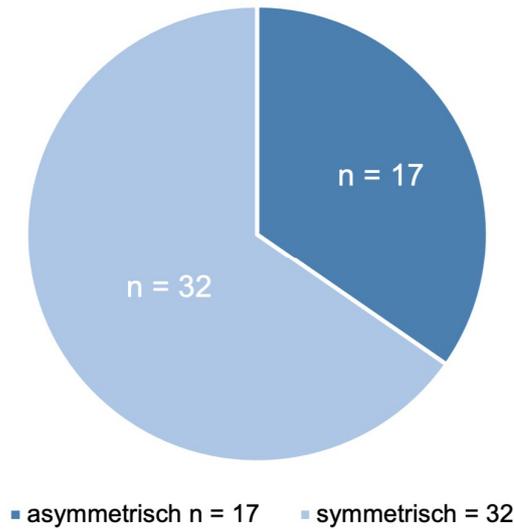


Abbildung 26: Postoperative Häufigkeiten von asymmetrischen und symmetrischen Patienten.

Bei Betrachtung der Behandlungsrichtung der transversalen Dekompensation fiel auf, dass sowohl dental (Is1u-Sag) als auch skelettal (Me-Sag) nur ein Patient in der Asymmetriegruppe überkorrigiert wurde (siehe Tabelle 22). In der Symmetriegruppe hingegen wurden dental (Is1u-Sag) zehn Patienten und skelettal (Me-Sag) 13 der 28 Patienten überkorrigiert (siehe Abbildung 27).

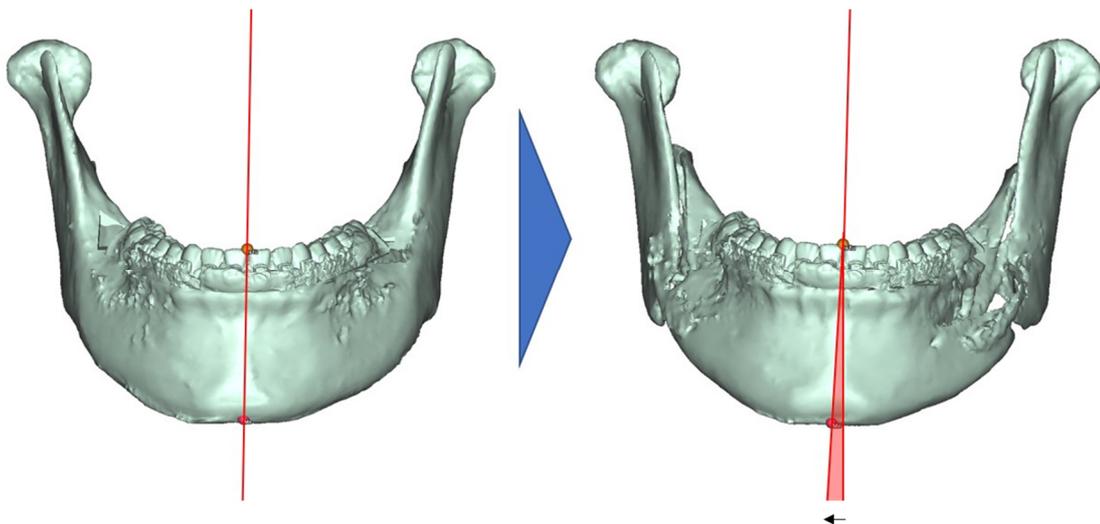


Abbildung 27: Postoperative Überkorrektur in der Transversalen (siehe Mentondeviation) mit Darstellung der Sagittalebene im Vergleich zwischen präoperativ (links) und postoperativ (rechts).

Tabelle 22: Behandlungsrichtung der transversalen Dekompensation von T1 zu T2 (kieferorthopädisch) und von T2 zu T3 (chirurgisch) für symmetrische (n = 28) und asymmetrische (n = 21) Patienten.

Messwerte	von T2 zu T3			
	Behandlungs- effizienz (%)	zum Ideal	entfernt vom Ideal	Überkorrektur
	Median (IQR)	n (%)	n (%)	n (%)
<u>Symmetrisch</u>				
n = 28				
Is1u-Sag [mm]	65 (143)	11 (39 %)	7 (25 %)	10 (36 %)
Me-Sag [mm]	31 (525)	3 (11 %)	12 (43 %)	13 (46 %)
<u>Asymmetrisch</u>				
n = 21				
Is1u-Sag [mm]	29 (81)	14 (67 %)	6 (29 %)	1 (4,8 %)
Me-Sag [mm]	32 (56)	15 (71 %)	5 (24 %)	1 (4,8 %)

4 Diskussion

4.1 Methodenkritik

In der vorliegenden longitudinalen, retrospektiven Studie wurde die kieferorthopädische Dekompensation im Rahmen der kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie anhand der kephalometrischen Auswertung von zwei- und dreidimensionalen Aufnahmen (FRS, DVT) analysiert. Die Untersuchung erfolgte unter Berücksichtigung von allen drei Dimensionen (sagittal, vertikal, transversal).

4.1.1 Patientenkollektiv

Das Patientenkollektiv umfasste insgesamt 52 Patienten, die zum Zeitpunkt des kieferchirurgischen Eingriffes volljährig waren. Die Geschlechterverteilung des Patientenkollektivs zugunsten der weiblichen Teilnehmerinnen ($n = 33$) entsprach der typischen Verteilung von kieferorthopädisch-kieferchirurgisch therapierten Patienten (Lawrence et al. 1985; Proffit et al. 1992; Cassidy et al. 1993; Nurminen et al. 1999; Pahkala und Kellokoski 2007; Raposo et al. 2018). Bereits 1984 führte Jacobson eine Studie an Patienten mit Indikation zur kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie durch, bei der das Verhältnis von Frau zu Mann bei 2:1 lag. Obwohl Dysgnathien geschlechterunspezifisch vorkommen, scheinen Frauen dem Wunsch nach einer Verbesserung ihres Erscheinungsbildes häufiger nachzugehen (Jacobson 1984). Eine Studie von Parton *et al.* (2011) berichtete sogar von einem Verhältnis von 6:1 zugunsten der Frauen. Auch Proffit *et al.* (1990) beschrieben, dass Frauen doppelt so häufig wie Männer eine kieferorthopädische Beratung beanspruchten und sich im Anschluss wahrscheinlicher einer kieferchirurgischen Behandlung unterzogen. Dies bestätigt, dass die Geschlechterverteilung im Rahmen der vorliegenden Studie der Nachfrage nach kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapien entspricht und somit die klinische Realität der durchgeführten kieferchirurgischen Interventionen widerspiegelt.

Die kieferorthopädische Vorbehandlung des Patientenkollektivs erfolgte nicht ausschließlich in der Poliklinik für Kieferorthopädie der Universitätsmedizin Göttingen, sondern auch durch niedergelassene Kieferorthopäden in privaten

Praxen. Obschon argumentiert werden könnte, dass die verschiedenen Vorbehandler und die unterschiedlichen klinischen Behandlungserfahrungen das Ergebnis der kieferorthopädischen Dekompensation beeinflussten, reflektiert das Studiendesign den klinischen Alltag. Mit diesen Faktoren müssen die operationsplanenden Kieferorthopäden und die operationsdurchführenden Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen umgehen. Darüber hinaus berichteten Potts *et al.* (2011) über keine Unterschiede in der Behandlungseffizienz zwischen erfahrenen und unerfahrenen Kieferorthopäden. Lediglich in Bezug auf die Dauer der präoperativen kieferorthopädischen Behandlung sowie der gesamten Behandlungszeit in niedergelassenen Fachzahnarztpraxen und einem Universitätsklinikum konnten in der Literatur signifikante Unterschiede festgestellt werden: Die kieferorthopädisch-kieferchirurgische Therapie von Patienten, die sich in einem Universitätsklinikum behandeln ließen, beanspruchte deutlich weniger Zeit (Slavnic und Marcusson 2010).

Folglich führte das Studiendesign zu realitätsnahen und klinisch aussagekräftigen Daten.

4.1.2 Röntgenologische Bildgebung

Für die Untersuchung der dentalen und skelettalen kieferorthopädischen Dekompensation standen sowohl zweidimensionale FRS (T1) als auch dreidimensionale DVT-Aufnahmen (T2, T3) zur Verfügung, die neben der sagittalen und vertikalen auch die Beurteilung der transversalen Dekompensation ermöglichten. Die Anfertigung aller Röntgenaufnahmen erfolgte studienunabhängig nach bereits erläuterten Standardprotokoll (Kapitel 2.2), wodurch eine Vergleichbarkeit der Röntgenaufnahmen gewährleistet wurde. Die DVT-Aufnahme zum Zeitpunkt T3 wurde während des postoperativen stationären Aufenthaltes der Patienten in der Universitätsmedizin Göttingen aufgenommen, sodass keine Aufnahmen nach der sich anschließenden kieferorthopädischen Behandlungsphase angefertigt und in die Studie einbezogen wurden. Die Verfälschung der Ergebnisse durch ein postoperatives Rezidiv konnte somit ausgeschlossen werden. Während sich das FRS bereits nach der Einführung im Jahre 1931 durch Broadbent als „Goldstandard“ in der kieferorthopädischen Diagnostik etablieren konnte, erfährt die erst um das Jahr 1998 vorgestellte DVT aufgrund ihrer detailreichen und überlagerungsfreien Darstellung des Hart- und

Weichgewebes zunehmende Popularität (Broadbent 1931; Mozzo et al. 1998). Das FRS jedoch entsteht durch die Projektion einer dreidimensionalen Struktur auf eine zweidimensionale Ebene und es resultieren Überlagerungen von anatomischen Strukturen (Kumar et al. 2007). Aufgrund des retrospektiven Studiendesigns wurden zum Zeitpunkt T1 keine DVT-Aufnahmen angefertigt und die transversale Dekompensation konnte nur zu den Zeitpunkten T2 und T3 berücksichtigt werden. Seit 1973 gilt in der Medizin und Forschung zudem das ALARA-Prinzip (= *as low as reasonably achievable*) zur Vermeidung übermäßiger Strahlenbelastung von Menschen (Berkhout 2015). Im Rahmen einer Risiko-Nutzen-Abwägung konnte festgestellt werden, dass sich die DVT nicht als initiale Standardaufnahme in der kieferorthopädischen Diagnostik eignet (De Grauwe et al. 2019). Die Anfertigung einer DVT sollte angesichts der vergleichsweise höheren Strahlenbelastung und den damit verbundenen Risiken auf Bereiche beschränkt werden, in denen die zusätzlichen diagnostischen Informationen das Behandlungsergebnis positiv beeinflussen (Silva et al. 2008; Nalçaci et al. 2010). Das FRS hat sich hingegen als ausreichende Grundlage für die initiale Behandlungsplanung durchgesetzt (Heil et al. 2017). Zu der niedrigeren Strahlenbelastung kommen die geringeren Kosten hinzu, weshalb in der Regel keine Indikation zur Aufnahme einer DVT zu Behandlungsbeginn besteht und das Einbeziehen der transversalen Ebene bei studienunabhängig angefertigten Röntgenaufnahmen auch zukünftig als schwierig zu betrachten ist (Garib et al. 2014). Dennoch würde der Einbezug von initialen DVT-Aufnahmen wichtige Erkenntnisse über die transversale Dekompensation sowie über die chirurgischen Konsequenzen liefern.

4.1.3 Kephalometrische Datenanalyse

Die Datenanalyse in der vorliegenden Studie wurde ausschließlich von der Verfasserin dieser Arbeit durchgeführt. Die kephalometrischen Referenzpunkte wurden zu allen drei Zeitpunkten manuell gesetzt. Zu den Zeitpunkten T2 und T3 wurden die dreidimensionalen Schädel zunächst einheitlich entlang der Frankfurter Horizontalebene (Porion rechts, Porion links, Orbitale) ausgerichtet, sodass eventuell entstandene Differenzen in der Patientenausrichtung während der 24-sekündigen Aufnahmezeit der DVT kompensiert wurden. Dennoch ist anzumerken, dass durch individuelle Bewegungen der einzelnen Patienten

während der Aufnahme Ungenauigkeiten im Bildmaterial entstanden sein könnten. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, wurden die DICOM®-Datensätze vor Einschluss in die vorliegende Studie qualitativ streng selektiert. In den letzten Jahrzehnten erlangten kephalometrische Messungen anhand von DVT-Aufnahmen breite Akzeptanz und zeigten eine vergleichbare Genauigkeit mit den zweidimensionalen Messungen auf (Moshiri et al. 2007; Barreto et al. 2020). Auch weitere Studien konnten belegen, dass kephalometrische Strecken- und Winkelmessungen anhand von FRS und DVT-Aufnahmen zu ähnlichen Ergebnissen führten (Kumar et al. 2007; Oz et al. 2011; Aksoy et al. 2016). Deshalb wurde angenommen, dass die Ergebnisse der Analysen anhand der konventionellen FRS und DVT-Aufnahmen im Rahmen dieser longitudinalen, retrospektiven Studie vergleichbar waren. Dennoch bemerkten van Vlijmen *et al.* (2010) in einer Studie einen höheren Messfehler bei der dreidimensionalen Analyse. Das Hinzufügen der dritten Dimension birgt folglich eine zusätzliche potenzielle Fehlerquelle in der kephalometrischen Analyse - insbesondere vor dem Hintergrund, dass zweidimensionale Röntgenbilder im klinischen Alltag häufiger ausgewertet werden und die Identifikation von Referenzpunkten in der Dreidimensionalen schwieriger ist (Cattaneo et al. 2008). Allerdings konnte im Rahmen der vorliegenden Studie kein Unterschied bezüglich der *intra-* und *inter-rater agreements* der Messergebnisse zwischen den zwei- und dreidimensionalen Röntgenbildern festgestellt werden, weshalb von einer hohen Reproduzierbarkeit der Messergebnisse ausgegangen werden kann.

4.2 Interpretation der Ergebnisse

4.2.1 Reliabilität der kephalometrischen Messungen

In der vorliegenden Studie wurde sowohl ein *intra-* als auch ein *inter-rater agreement* nach dem Verfahren von Bland und Altman (1986) durchgeführt und eine hohe Reliabilität der Messungen mit einer Messgenauigkeit von $< 0,5$ mm bzw. $< 0,5^\circ$ konnte für die Auswertung beider Röntgenaufnahmen (FRS, DVT) belegt werden. Bereits 1994 empfahlen Major *et al.*, Messungen mit einem Identifikationsfehler der Referenzpunkte von $> 1,5$ mm zu vermeiden. Die Ergebnisse der linearen und angulären Reliabilitätsmessungen in dieser Studie entsprechen der Empfehlung und befinden sich größtenteils unterhalb des

definierten Schwellenwertes. Folglich haben beide Untersucher die kephalometrischen Referenzpunkte sehr ähnlich gesetzt, was wiederum an der vergleichbaren Erfahrung beider in der Auswertung von zwei- und dreidimensionalen Röntgenaufnahmen mit den verwendeten Programmen liegen könnte. Auch Midtgård *et al.* (1974) konnten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich der Ergebnisse von kephalometrischen Messungen im FRS zwischen zwei verschiedenen Untersuchern feststellen. Bei der dreidimensionalen Auswertung von Röntgenbildern bestätigten Titiz *et al.* (2012) ebenfalls eine Abweichung derselben Größenordnung. Somit entsprechen die Ergebnisse dieser Studie denen bereits vorausgegangener Studien bezüglich der Übereinstimmung des *intra-* und *inter-rater agreements*.

Bei der zweidimensionalen Darstellung des dreidimensionalen Schädels im FRS kommt es zu Überlagerungen relevanter anatomischer Strukturen, weshalb von einer erschwerten Identifikation der kephalometrischen Referenzpunkte ausgegangen wird (Santoro *et al.* 2006). Hingegen bietet die DVT in allen drei Ebenen die Möglichkeit der Lokalisierung von Referenzpunkten. Chien *et al.* (2009) verglichen in einer Untersuchung festgelegte Referenzpunkte im FRS und in der DVT miteinander und konnten eine höhere Reliabilität für die Punkte in der DVT feststellen. Auch Moshiri *et al.* (2007) fanden heraus, dass die Reliabilität der Messungen an den zweidimensionalen Röntgenbildern signifikant geringer war als jene an den dreidimensionalen Aufnahmen. In der vorliegenden Studie konnte jedoch kein Unterschied in der Reliabilität der zwei- und dreidimensionalen Messungen festgestellt werden. Ein Grund dafür könnte sein, dass die dreidimensionalen Referenzpunkte – sofern notwendig – auf die Sagittalebene projiziert wurden, wodurch zweidimensionale Messwerte abgeleitet werden konnten.

4.2.2 Kephالometrische Messwerte in der Sagittalen

In Übereinstimmung mit bereits vorausgegangenen Studien war die kieferorthopädische Dekompensation der Schneidezähne in der Sagittalen nicht so erfolgreich wie gewünscht und die Behandlungseffizienz reichte von einer Überkorrektur der Achsstellung der Schneidezähne bis hin zu einer Therapie weg vom Ideal (Proffit *et al.* 1992; Potts *et al.* 2009; Potts *et al.* 2011). Vor der Durchführung der vorliegenden Studie wurde erwartet, dass die kiefer-

orthopädische Behandlung der Schneidezähne bei Patienten mit einer skelettalen Klasse III im Unterkiefer effizienter stattfindet als die bei Patienten mit einer skelettalen Klasse II. Diese Hypothese beruhte auf vorausgegangenen Studien (Capellozza Filho et al. 1996; Troy et al. 2009; Cappellozza et al. 2015). Ein Grund dafür könnte sein, dass die Protrusion von retrudierten Schneidezähnen im Unterkiefer leichter durchzuführen ist als die Retrusion von protrudierten Schneidezähne (siehe Kapitel 1.3).

Im Gegensatz zur skelettalen Klasse III stehen die Frontzähne des Unterkiefers bei Patienten mit skelettaler Klasse II typischerweise in protrudierter Achsstellung, sollten somit theoretisch häufiger in ihrer unphysiologischen Position verbleiben und die chirurgischen Verlagerungstrecken nach ventral limitieren (Jacobson et al. 1974; Larson 2014). Dies konnte in der vorliegenden Studie jedoch nicht bestätigt werden. Die kieferorthopädische Behandlungseffizienz zwischen Patienten mit skelettaler Klasse II und III zeigte keine signifikanten Unterschiede. Stattdessen wurde ein signifikanter Unterschied in der chirurgischen Korrektur der skelettalen Kieferdiskrepanzen festgestellt. Im Rahmen der Dysgnathie-Chirurgie konnte der „Wits“-Wert von Patienten mit einer skelettalen Klasse II signifikant effizienter korrigiert werden als der „Wits“-Wert von Patienten mit skelettaler Klasse III. Um eine Stichprobenverzerrung zu vermeiden, wurden alle Patienten in die vorliegende Studie ohne die Berücksichtigung des Schweregrades der Malokklusion und skelettalen Diskrepanz konsekutiv eingeschlossen. Bei retrospektiver Betrachtung des initialen „Wits“-Wertes zum Zeitpunkt T1 fiel jedoch auf, dass die Patienten mit skelettaler Klasse III unter präoperativ schwerwiegenderen skelettalen Diskrepanzen litten, als die skelettalen Klasse II Patienten. Dies könnte den Unterschied in der Behandlungseffizienz zwischen den skelettalen Klassen verursacht haben. Durch die Betrachtung der Korrelation zwischen der Dekompensation der Schneidezähne und dem postoperativen skelettalen Ergebnis wurde diese Annahme bestätigt, denn je höher der „Wits“-Wert zum Zeitpunkt T2 war, desto höher war der „Wits“-Wert auch zum Zeitpunkt T3. Dieser lineare Zusammenhang zwischen den Variablen „Wits“ zu T2 und „Wits“ zu T3 konnte für keine weitere Variable berichtet werden. Auch Burden *et al.* (2007) konnten keine lineare Beziehung zwischen der kieferorthopädischen

Dekompensation der Schneidezähne und der skelettalen Kieferdiskrepanz zum Zeitpunkt T3 beobachten.

In der vorliegenden Studie wurde häufiger ein physiologischer *overjet* als eine neutrale Kieferrelation erreicht. Dieses Ergebnis stimmt mit weiteren Studien überein (Proffit et al. 1992; Johnston et al. 2006; Burden et al. 2007; Potts et al. 2009; Potts et al. 2011). Beispielsweise erreichten in den Studien von Proffit et al. (1992) und Johnston et al. (2006) postoperativ etwa 95 % der Patienten einen physiologischen *overjet*, während die Korrektur der skelettalen Kieferrelation weniger erfolgreich stattfand. Folglich erscheint das Ergebnis der vorliegenden Studie als ein häufiger auftretendes Problem in der Literatur zu existieren. Ein Grund dafür könnte sein, dass der *overjet* ohne röntgenologische Hilfsmittel während jeder kieferorthopädischen Behandlung visuell oder mithilfe einer Messlehre kontrollierbar ist und für die genaue Beurteilung der skelettalen Kieferrelation immer auch röntgenologisches Bildmaterial benötigt wird. Dennoch ist anzumerken, dass das Erreichen eines normwertigen *overjets* ebenso ein Behandlungsziel ist wie die Einstellung einer neutralen Kieferrelation. Vor diesem Aspekt ist es von besonderer Relevanz, die Achsstellung und Position der Schneidezähne während der präoperativen kieferorthopädischen Behandlung innerhalb der physiologischen Grenzen so weit wie möglich zu dekompensieren und die skelettale Komponente nicht außer Acht zu lassen, um eine Limitation der Einstellung einer neutralen Kieferrelation durch den *overjet* zu verhindern. Darüber hinaus beeinflussen die chirurgischen Bewegungen ebenfalls die Achsstellung und Position der Schneidezähne. So führt eine Rotation des Oberkiefers im Uhrzeigersinn (*clockwise*) etwa zu einer Retrusion der Frontzähne des Oberkiefers im Verhältnis zur anterioren Schädelbasis (Winkel: OK1-NA). Zudem erweitert das Konzept der Rotation des maxillomandibulären Komplexes im Uhrzeigersinn (*clockwise*) oder gegen den Uhrzeigersinn (*counter-clockwise*) den Facettenreichtum der Behandlungs- und Operationsplanung für sowohl den Kieferorthopäden als auch den Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen (Ploder 2014). Die durchzuführenden chirurgischen Bewegungen sollten daher bereits vor der präoperativen kieferorthopädischen Behandlung in enger interdisziplinärer Kommunikation mit dem Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen festgelegt werden. Die Fokussierung auf die Neigung der Schneidezähne im Verhältnis zur Ober- und Unterkieferebene (Winkel: OK1-NL, UK1-ML) könnte

dabei das interdisziplinäre Erreichen idealer Achsneigungen im Anschluss an die Umstellungsosteotomien erleichtern, da diese Ebenen die Basis der chirurgischen Verlagerungen darstellen.

4.2.3 Kephalometrische Messwerte in der Vertikalen

Die kieferorthopädische Dekompensation in der Vertikalen wurde ausschließlich bei Patienten mit offenem Biss untersucht. Die Patienten mit tiefem Biss wurden hingegen in Bezug auf die vertikale Dekompensation der Frontzähne außer Acht gelassen. Der Grund dafür ist, dass während der präoperativen kieferorthopädischen Therapie beider Malokklusionen unterschiedliche Behandlungsstrategien angewandt werden (Jacobs und Sinclair 1983). Tiefe Bisse können entweder präoperativ durch die Intrusion der Schneidezähne oder postoperativ durch die Nivellierung der Spee-Kurve behandelt werden (Bell et al. 1984; Op de Coul et al. 2010). Die Entscheidung, durch welche der Behandlungsmöglichkeiten das gewünschte Ergebnis erzielt werden kann, wird von verschiedenen Faktoren wie beispielsweise der Höhe des Untergesichtes oder der Notwendigkeit einer chirurgischen Vorverlagerung der Mandibula beeinflusst und ist somit komplex. Die Vorgehensweise bei Patienten mit offenem Biss ist dahingegen eindeutiger. Die präoperativen Behandlungsziele bestehen darin, den frontal offenen Biss nicht zu verringern und somit den negativen *overbite* zu halten bzw. zu verstärken (Wriedt et al. 2009; Jensen und Ruf 2010). Dennoch wurde bei dem untersuchten Patientenkollektiv eine Vergrößerung des *overbites* zwischen den Zeitpunkten T1 und T2 beobachtet, was sich schließlich negativ auf die chirurgische Korrektur des Winkels ML-NL auswirkte und dazu führte, dass 18 Patienten vertikal offen konfiguriert verblieben. Die Korrektur des skelettal offenen Bisses gehört zu der am wenigsten erfolgreichen aller kieferorthopädischen Behandlungsformen und stellt eine erhebliche Herausforderung für Kieferorthopäden dar (Epker und Fish 1977; Ding et al. 2007). Somit spiegeln die Ergebnisse der vorliegenden Studie die Schwierigkeiten in der Therapie des offenen Bisses wider. Um diesen entgegenzuwirken, könnte der Kieferorthopäde während der präoperativen kieferorthopädischen Dekompensation von Dysgnathie-Patienten in Erwägung ziehen, segmentierte Bogendrähite zu verwenden. Diese fördern den präoperativen Erhalt des offenen Bisses und kann diesen sogar vergrößern,

wohingegen die Applikation von geraden Drähten (*straight-wire*) zu Beginn der kieferorthopädischen Therapie eine anteriore Bissvertiefung bewirkt (McLaughlin et al. 2007). Der konstante Erhalt des offenen Bisses und die Fokussierung auf die Vergrößerung eines negativen *overbites* würden den Erfolg der kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie des skelettal offenen Bisses steigern und sollten bereits zu Anfang zu den wesentlichen Behandlungszielen des Kieferorthopäden zählen.

4.2.4 Kephalometrische Messwerte in der Transversalen

Die Untersuchung der transversalen kieferorthopädischen Dekompensation konzentrierte sich in dem vorliegenden Forschungsprojekt auf Asymmetrien im Unterkiefer. Im Rahmen einer vorausgegangenen Studie stellten Severt und Proffit (1997) fest, dass Asymmetrien dort am häufigsten auftreten. Dazu tragen altersbedingte ossäre Remodellierungsvorgänge im Kiefergelenk maßgeblich bei (Kantomaa 1988; Pirttiniemi et al. 1990). Zudem bildet der Unterkiefer die Stütze der Weichteile der unteren Gesichtshälfte, während der Oberkiefer nur einer minimalen Stützfunktion nachkommt und Oberkieferasymmetrien in Kombination mit einem asymmetrischen Unterkieferwachstum auftreten (Singh et al. 2016). Daher wurden Patienten, die sich einer isolierten Le-Fort-I-Osteotomie und somit keinen chirurgischen Veränderungen im Unterkiefer unterzogen, von der Analyse in der Transversalen ausgeschlossen. Eine optimale präoperative kieferorthopädische Dekompensation bedeutet, dass die Mentonabweichung (Me-Sag) und die Abweichung der Zahnmittellinie der Frontzähne des Unterkiefers (Is1u-Sag) miteinander übereinstimmen. Andernfalls führt die chirurgische Korrektur der Zahnmittellinie zu einer unerwünschten Mentonabweichung. Dieser unmittelbare Zusammenhang konnte im Rahmen der vorliegenden Studie sowohl bei symmetrischen als auch bei asymmetrischen Patienten beobachtet werden und lässt sich auf die zumeist unzureichende Dekompensation in der Transversalebene zurückführen. Der verwendete Schwellenwert von 2 mm wurde jedoch sehr streng gewählt, um bereits kleine Diskrepanzen wie in vorausgegangenen Studien zu erkennen (Severt und Proffit 1997; Haraguchi et al. 2002). Allerdings wird in der Literatur von unterschiedlichen Schwellenwerten von bis zu 6 mm für die Beurteilung von Asymmetrien im Unterkiefer berichtet (Wang et al. 2017). Zudem bewerteten

Kieferorthopäden das Erscheinungsbild von Patienten mit dentalen Mittellinienabweichungen erst ab einem Schwellenwert von 4 mm als signifikant weniger ästhetisch (Kokich et al. 1999). Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die in der vorliegenden Studie beobachteten postoperativen Asymmetrien, die aus der unzureichenden transversalen Dekompensation entstanden sind, klinisch akzeptabel sein könnten. Eine präzise kieferorthopädische Behandlungsplanung, die die Auswertung der dentalen und skelettalen Mittellinie beinhaltet, verbessert folglich die transversale kieferorthopädische Dekompensation und trägt dazu bei, postoperative Asymmetrien im Unterkiefer zu umgehen. Es sollte vermieden werden, dass die dentale Mittellinie intraoperativ unter Vernachlässigung der skelettalen Mittellinie durch den Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen eingestellt wird. Dies würde lediglich zu einer Verstärkung der Asymmetrie führen.

4.3 Schlussfolgerungen und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Studie konnten kephalometrische Messungen in allen drei Ebenen durchgeführt werden. Dies ermöglichte die Beurteilung der kieferorthopädischen Dekompensation im Rahmen der kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie zu Behandlungsbeginn (T1), präoperativ (T2) und postoperativ (T3). Es stellte sich heraus, dass die kieferorthopädische Dekompensation der Schneidezähne in der sagittalen, vertikalen und transversalen Ebene häufig nur unzureichend erreicht wurde. Zudem konnte aufgezeigt werden, dass die chirurgischen Strecken, die im Zuge der Umstellungsosteotomien zurückgelegt wurden, die Neigung der Schneidezähne beeinflussten. Diese sollten bereits bei der präoperativen kieferorthopädischen Dekompensation berücksichtigt werden. Eine frühzeitige, enge interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Kieferorthopäden und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen ist dabei von besonderer Bedeutung.

Die kieferorthopädische Behandlungseffizienz der sagittalen Dekompensation der Schneidezähne unterschied sich zwischen Patienten mit skelettaler Klasse II und III nicht. In der Vertikalebene fiel auf, dass Patienten, die initial offen konfiguriert waren ($ML-NL > 26,5^\circ$), eine präoperative Bissvertiefung erfuhren. Dies könnte zu der weniger erfolgreichen chirurgischen Reduktion des Winkels

ML-NL geführt haben, weshalb viele Patienten auch postoperativ noch einen skelettal offenen Biss aufwiesen. In der Transversalebene wurden die dentalen und skelettalen Mittellinienabweichungen häufig nicht aneinander angepasst. Daraus resultierte die unzureichende Korrektur der Mentonabweichungen.

Das vorliegende Forschungsprojekt zeigt auf, dass die kieferorthopädische Dekompensation der Schneidezähne insbesondere in der vertikalen und transversalen Dimension noch nicht hinreichend erforscht wurde. Zudem besteht während dieser interdisziplinären Therapie von Dysgnathie-Patienten bei Betrachtung der Studienergebnisse in allen drei Ebenen Optimierungsbedarf. Die Durchführung weiterer dreidimensionaler Analysen der kieferorthopädischen Dekompensation bei kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischer Therapie ist erstrebenswert, sodass bestmögliche Behandlungsergebnisse sowohl seitens der Kieferorthopäden als auch der Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen resultieren können.

5 Zusammenfassung

Die vorliegende longitudinale, retrospektive Studie verfolgte das Ziel, die kieferorthopädische Dekompensation im Rahmen der kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Therapie in allen drei Ebenen (sagittal, vertikal, transversal) zu analysieren. Des Weiteren wurden der Behandlungserfolg sowie die Behandlungseffizienz im Rahmen dieser interdisziplinären Therapie bestimmt.

52 erwachsene Patienten (skelettale Klasse II $n = 26$; skelettale Klasse III $n = 26$), die eine kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgische Therapie an der Universitätsmedizin Göttingen durchliefen, wurden in die Studie inkludiert. Es erfolgte die zwei- und dreidimensionale kephalometrische Auswertung der Achsneigung und Position der Schneidezähne im Ober- und Unterkiefer sowie der skelettalen Veränderungen vor Behandlungsbeginn (T1), präoperativ (T2) und postoperativ (T3). Dazu standen zu T1 zweidimensionale Fernröntgenseitenbilder zur Verfügung, die mit der Software OnyxCeph^{3TM} ausgewertet wurden, während für die dreidimensionalen digitalen Volumentomographien zu T2 und T3 das Programm ProPlan[®] CMF 3.0 verwendet wurde.

Die Ergebnisse zeigten, dass die kieferorthopädische Dekompensation der Schneidezähne in allen drei Ebenen gemessen an Normwerten unzureichend stattfand. In der Sagittalen unterschied sich die kieferorthopädische Behandlungseffizienz zwischen Patienten mit skelettaler Klasse II und skelettaler Klasse III nicht. In der Vertikalen erfolgte die Untersuchung von Patienten, die initial offen konfiguriert waren ($ML-NL > 26,5^\circ$). Sie zeigten eine präoperative Bissvertiefung und eine unzureichende chirurgische Reduktion des Winkels der Maxillomandibularebene (ML-NL). Die Analyse der kieferorthopädischen Dekompensation in der Transversalen zeigte, dass die Abweichung der dentalen Mittellinie nicht an die skelettale Asymmetrie angepasst wurde. Dies führte zu einer insuffizienten Korrektur der Mentonabweichung.

Zusammenfassend wurde im Rahmen der vorliegenden Studie festgestellt, dass die kieferorthopädische Dekompensation der Schneidezähne nicht so erfolgreich stattgefunden hat wie erwartet. So wurde das Behandlungsideal beispielsweise nur selten erreicht.

Zur Verbesserung der skelettalen Therapieergebnisse sollte der Kieferorthopäde nach Indikationsstellung zur kombiniert kieferorthopädisch-kieferchirurgischen Behandlung den Patienten schon zu Beginn unter Berücksichtigung der gewünschten chirurgischen Verlagerungsstrecken behandeln. Diese operativen Bewegungen beeinflussen die Schneidezahnneigung und sollten im Rahmen der präoperativen Vorbehandlung berücksichtigt werden. Vor der Überweisung an die Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgen zur Durchführung der Umstellungsosteotomie ist es von besonderer Relevanz, dass der Kieferorthopäde die präoperative Dekompensation der Schneidezähne detailliert analysiert und kritisch beurteilt, damit zukünftig das Behandlungsideal häufiger erreicht werden kann.

6 Literaturverzeichnis

- Ahn HW, Baek SH (2011): Skeletal anteroposterior discrepancy and vertical type effects on lower incisor preoperative decompensation and postoperative compensation in skeletal Class III patients. *Angle Orthod* 81, 64–74
- Aksoy S, Kelahmet U, Hincal E, Oz U, Orhan K (2016): Comparison of linear and angular measurements in CBCT scans using 2D and 3D rendering software. *Biotechnol Biotechnol Equip* 30, 777–784
- Alhammadi MS (2019): Dentoalveolar compensation in different anterioposterior and vertical skeletal malocclusions. *J Clin Exp Dent* 11, e745–e753
- Andresen V (1931): Biomechanische Orthodontie für den Allgemeinzahnarzt und für den Schulzahnarzt. *Fortschritte Orthod* 1, 85–86
- Anwar N, Fida M (2009): Evaluation of dentoalveolar compensation in skeletal class II malocclusion in a Pakistani University Hospital setting. *J Coll Physicians Surg Pak* 19, 11–16
- Aziz SR (2004): Simon P. Hüllihen and the origin of orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 62, 1303–1307
- Baek SH, Ahn HW, Kwon YH, Choi JY (2010): Surgery-First approach in skeletal Class III malocclusion treated with 2-jaw surgery: evaluation of surgical movement and postoperative orthodontic treatment. *J Craniofac Surg* 21, 332–338
- Baik H (2008): Die Grenzen der kieferorthopädischen Behandlung und der Camouflage-Behandlung bei Klasse-III-Dysgnathien. *IOK* 40, 45–57
- Barone S, Morice A, Picard A, Giudice A (2020): Surgery-first orthognathic approach vs conventional orthognathic approach: A systematic review of systematic reviews. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg* S2468785520302044
- Barreto MS, Silva Barbosa I, Miranda Leite-Ribeiro P, Araújo TM, Almeida Sarmiento V (2020): Accuracy of the measurements from multiplanar and sagittal reconstructions of CBCT. *Orthod Craniofac Res* 23, 223–228
- Behrman SJ, Behrman DA (1988): Oral surgeons' considerations in surgical orthodontic treatment. *Dent Clin North Am* 32, 481–507
- Bell WH, Creekmore TD (1973): Surgical-orthodontic correction of mandibular prognathism. *Am J Orthod* 63, 256–270

- Bell WH, Jacobs JD, Legan HL (1984): Treatment of Class II deep bite by orthodontic and surgical means. *Am J Orthod* 85, 1–20
- Berkhout WER (2015): The ALARA-principle. Backgrounds and enforcement in dental practices. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 122, 263–270
- Bland JM, Altman DG (1986): Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1, 307–310
- Brachvogel P, Berten JL, Hausamen JE (1991): Surgery before orthodontic treatment: a concept for timing the combined therapy of skeletal dysgnathias. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilkd Zentralbl* 79, 557–563
- Breece GL, Nieberg LG (1986): Motivations for adult orthodontic treatment. *J Clin Orthod* 20, 166–171
- Broadbent BH (1931): A new x-ray technique and its application in orthodontics. *Angle Orthod* 1, 45–66
- Burden D, Johnston C, Kennedy D, Harradine N, Stevenson M (2007): A cephalometric study of Class II malocclusions treated with mandibular surgery. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 131, 7.e1-e8
- Burns NR, Musich DR, Martin C, Razmus T, Gunel E, Ngan P (2010): Class III camouflage treatment: what are the limits? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 137, 9.e1-9.e13
- Capelozza Filho L, Martins A, Mazzotini R, da Silva Filho OG (1996): Effects of dental decompensation on the surgical treatment of mandibular prognathism. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 11, 165–180
- Cappelozza JAZ, Guedes FP, Nary Filho H, Capelozza Filho L, Cardoso MDA (2015): Orthodontic decompensation in skeletal Class III malocclusion: redefining the amount of movement assessed by Cone-Beam Computed Tomography. *Dent Press J Orthod* 20, 28–34
- Carlos VB, Giovanni O, Diego R, Angela S, Baccetti T (2009): Orthodontic decompensation in class III patients by means of distalization of upper molars. *Prog Orthod* 10, 82–90
- Cassidy DW, Herbosa EG, Rotskoff KS, Johnston LE (1993): A comparison of surgery and orthodontics in „borderline“ adults with Class II, division 1 malocclusions. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 104, 455–470

- Cattaneo PM, Bloch C, Calmar D, Hjortshøj M, Melsen B (2008): Comparison between conventional and cone-beam computed tomography-generated cephalograms. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 134, 798–802
- Chien PC, Parks ET, Eraso F, Hartsfield JK, Roberts WE, Ofner S (2009): Comparison of reliability in anatomical landmark identification using two-dimensional digital cephalometrics and three-dimensional cone beam computed tomography in vivo. *Dento Maxillo Facial Radiol* 38, 262–273
- Choi DS, Garagiola U, Kim SG (2019): Current status of the surgery-first approach (part I): concepts and orthodontic protocols. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 41, 10
- Choi JW, Lee JY, Yang SJ, Koh KS (2015): The reliability of a surgery-first orthognathic approach without presurgical orthodontic treatment for skeletal Class III dentofacial deformity. *Ann Plast Surg* 74, 333–341
- Christensen L, Luther F (2015): Adults seeking orthodontic treatment: expectations, periodontal and TMD issues. *Br Dent J* 218, 111–117
- Cunningham SJ (2000): Are orthognathic patients different? *Eur J Orthod* 22, 195–202
- Cunningham SJ, Hunt NP, Feinmann C (1996): Perceptions of outcome following orthognathic surgery. *Br J Oral Maxillofac Surg* 34, 210–213
- De Grauwe A, Ayaz I, Shujaat S, Dimitrov S, Gbadegbegnon L, Vande Vannet B, Jacobs R (2019): CBCT in orthodontics: a systematic review on justification of CBCT in a paediatric population prior to orthodontic treatment. *Eur J Orthod* 41, 381–389
- De Vos W, Casselman J, Swennen GRJ (2009): Cone-beam computerized tomography (CBCT) imaging of the oral and maxillofacial region: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg* 38, 609–625
- Ding Y, Xu TM, Lohrmann B, Gellrich NC, Schwestka-Polly R (2007): Stability following combined orthodontic-surgical treatment for skeletal anterior open bite – a cephalometric 15-year follow-up study. *J Orofac Orthop* 68, 245–256
- Epker BN, Fish L (1977): Surgical-orthodontic correction of open-bite deformity. *Am J Orthod* 71, 278–299
- Garib DG, Calil LR, Leal CR, Janson G (2014): Is there a consensus for CBCT use in Orthodontics? *Dent Press J Orthod* 19, 136–149
- Goldwyn RM (1973): Simon P. Hullihen: pioneer oral and plastic surgeon. *Plast Reconstr Surg* 52, 250–257

- Haraguchi S, Takada K, Yasuda Y (2002): Facial asymmetry in subjects with skeletal Class III deformity. *Angle Orthod* 72, 28–35
- Heil A, Lazo Gonzalez E, Hilgenfeld T, Kickingereder P, Bendszus M, Heiland S, Ozga A, Sommer A, Lux C, Zingler S (2017): Lateral cephalometric analysis for treatment planning in orthodontics based on MRI compared with radiographs: a feasibility study in children and adolescents. *PLOS ONE* 12, e0174524
- Hernández-Alfaro F, Guijarro-Martínez R, Peiró-Guijarro MA (2014): Surgery first in orthognathic surgery: what have we learned? A comprehensive workflow based on 45 consecutive cases. *J Oral Maxillofac Surg* 72, 376–390
- Huang C, Hsu S-P, Chen YR (2014): Systematic review of the surgery-first approach in orthognathic surgery. *Biomed J* 37, 184–190
- Ishikawa H, Nakamura S, Iwasaki H, Kitazawa S, Tsukada H, Sato Y (1999): Dentoalveolar compensation related to variations in sagittal jaw relationships. *Angle Orthod* 69, 534–538
- Jacobs JD, Sinclair PM (1983): Principles of orthodontic mechanics in orthognathic surgery cases. *Am J Orthod* 84, 399–407
- Jacobson A (1975): The „Wits“ appraisal of jaw disharmony. *Am J Orthod* 67, 125–138
- Jacobson A (1984): Psychological aspects of dentofacial esthetics and orthognathic surgery. *Angle Orthod* 54, 18–35
- Jacobson A, Evans WG, Preston CB, Sadowsky PL (1974): Mandibular prognathism. *Am J Orthod* 66, 140–171
- Jensen U, Ruf S (2010): Success rate of anterior open-bite orthodontic-orthognathic surgical treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 138, 716–719
- Johnston C, Burden D, Kennedy D, Harradine N, Stevenson M (2006): Class III surgical-orthodontic treatment: a cephalometric study. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 130, 300–309
- Kantomaa T (1988): The shape of the glenoid fossa affects the growth of the mandible. *Eur J Orthod* 10, 249–254
- Keim RG, Gottlieb EL, Nelson AH, Vogels DS (2013): 2013 JCO Orthodontic Practice Study. Part 1: trends. *J Clin Orthod JCO* 47, 661–680
- Kerr WJS, Miller S, Dawber JE (1992): Class III malocclusion: surgery or orthodontics? *Br J Orthod* 19, 21–24

- Kim CS, Lee SC, Kyung HM, Park HS, Kwon TG (2014): Stability of mandibular setback surgery with and without presurgical orthodontics. *J Oral Maxillofac Surg* 72, 779–787
- Kokich VO, Asuman Kiyak H, Shapiro PA (1999): Comparing the perception of dentists and lay people to altered dental esthetics. *J Esthet Restor Dent* 11, 311–324
- Kumar V, Ludlow JB, Mol A, Cevidanes L (2007): Comparison of conventional and cone beam CT synthesized cephalograms. *Dento Maxillo Facial Radiol* 36, 263–269
- Kwon TG, Han MD (2019): Current status of surgery first approach (part II): precautions and complications. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 41, 23
- Larson BE (2014): Orthodontic preparation for orthognathic surgery. *Oral Maxillofac Surg Clin N Am* 26, 441–458
- Lawrence TN, Ellis E, McNamara JA (1985): The frequency and distribution of skeletal and dental components in Class II orthognathic surgery patients. *J Oral Maxillofac Surg* 43, 24–34
- Lee RT (1994): The benefits of post-surgical orthodontic treatment. *Br J Orthod* 21, 265–274
- Lee YC, Sohn HB, Kim SK, Bae OY, Lee JH (2015): A novel method for the management of proximal segment using computer assisted simulation surgery: correct condyle head positioning and better proximal segment placement. *Maxillofac Plast Reconstr Surg* 37, 21
- Li SN, Zhang D (2014): Recent progress of adult orthodontic treatment. *Zhongguo Yi Xue Ke Xue Yuan Xue Bao* 36, 675–679
- Liao YF, Chiu YT, Huang CS, Ko EWC, Chen YR (2010): Presurgical orthodontics versus no presurgical orthodontics: treatment outcome of surgical-orthodontic correction for skeletal class III open bite. *Plast Reconstr Surg* 126, 2074–2083
- Liou EJW, Chen PH, Wang YC, Yu CC, Huang CS, Chen YR (2011): Surgery-first accelerated orthognathic surgery: orthodontic guidelines and setup for model surgery. *J Oral Maxillofac Surg* 69, 771–780
- Luther F, Morris DO, Hart C (2003): Orthodontic preparation for orthognathic surgery: how long does it take and why? A retrospective study. *Br J Oral Maxillofac Surg* 41, 401–406

- Luther F, Morris DO, Karnezi K (2007): Orthodontic treatment following orthognathic surgery: how long does it take and why? A retrospective study. *J Oral Maxillofac Surg* 65, 1969–1976
- Major PW, Johnson DE, Hesse KL, Glover KE (1994): Landmark identification error in posterior anterior cephalometrics. *Angle Orthod* 64, 447–454
- Mast G, Ehrenfeld M: Chirurgische Kieferorthopädie. In: Schwenzler N, Ehrenfeld M (Hrsg.): *Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie*. 4. Auflage; Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2010, 234–260
- McLaughlin RP, Bennett JC, Trevisi HJ (Hrsg.): *Systemized orthodontic treatment mechanics*. 2. Auflage; Mosby, St. Louis 2007
- McNeil C, McIntyre G, Laverick S (2014): How much incisor decompensation is achieved prior to orthognathic surgery? *J Clin Exp Dent* 6, 225–229
- Midtgård J, Björk G, Linder-Aronson S (1974): Reproducibility of cephalometric landmarks and errors of measurements of cephalometric cranial distances. *Angle Orthod* 44, 56–61
- Min B, Choi JY, Baek SH (2014): Comparison of treatment duration between conventional three-stage method and surgery-first approach in patients with skeletal Class III malocclusion. *J Craniofac Surg* 25, 1752–1756
- Moshiri M, Scarfe WC, Hilgers ML, Scheetz JP, Silveira AM, Farman AG (2007): Accuracy of linear measurements from imaging plate and lateral cephalometric images derived from cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 132, 550–560
- Mozzo P, Procacci C, Tacconi A, Martini PT, Andreis IA (1998): A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *Eur Radiol* 8, 1558–1564
- Nagasaka H, Sugawara J, Kawamura H, Nanda R (2009): „Surgery first“ skeletal Class III correction using the Skeletal Anchorage System. *J Clin Orthod* 43, 97–105
- Nalçacı R, Öztürk F, Sökücü O (2010): A comparison of two-dimensional radiography and three-dimensional computed tomography in angular cephalometric measurements. *Dentomaxillofacial Radiol* 39, 100–106
- Naran S, Steinbacher DM, Taylor JA (2018): Current Concepts in Orthognathic Surgery. *Plast Reconstr Surg* 141, 925e–936e
- Ngan PW, Byczek E, Scheick J (1997): Longitudinal evaluation of growth changes in Class II division 1 subjects. *Semin Orthod* 3, 222–231

- Nötzel F, Schultz C: Leitfaden der kieferorthopädischen Diagnostik: Analysen und Tabellen für die Praxis. Dt. Zahnärzte-Verl., DÄV-Hanser, Köln 2001
- Nurminen L, Pietilä T, Vinkka-Puhakka H (1999): Motivation for and satisfaction with orthodontic-surgical treatment: a retrospective study of 28 patients. *Eur J Orthod* 21, 79–87
- Op de Coul F, Oosterkamp BCM, Jansma J, Bierman MWJ, Pruijm GJ, Sandham A (2010): Maintenance of a deep bite prior to surgical mandibular advancement. *Eur J Orthod* 32, 342–345
- Oz U, Orhan K, Abe N (2011): Comparison of linear and angular measurements using two-dimensional conventional methods and three-dimensional cone beam CT images reconstructed from a volumetric rendering program in vivo. *Dento Maxillo Facial Radiol* 40, 492–500
- Pahkala RH, Kellokoski JK (2007): Surgical-orthodontic treatment and patients' functional and psychosocial well-being. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 132, 158–164
- Parton AL, Tong DC, De Silva HL, Farella M, De Silva RK (2011): A nine-year review of orthognathic surgery at the University of Otago. *N Z Dent J* 107, 117–120
- Peiró-Guijarro MA, Guijarro-Martínez R, Hernández-Alfaro F (2016): Surgery first in orthognathic surgery: a systematic review of the literature. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 149, 448–462
- Pelo S, Gasparini G, Garagiola U, Cordaro M, Di Nardo F, Staderini E, Patini R, de Angelis P, D'Amato G, Saponaro G, Moro A (2017): Surgery-first orthognathic approach vs traditional orthognathic approach: oral health-related quality of life assessed with 2 questionnaires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 152, 250–254
- Pirttiniemi P, Kantomaa T, Lahtela P (1990): Relationship between craniofacial and condyle path asymmetry in unilateral cross-bite patients. *Eur J Orthod* 12, 408–413
- Ploder O (2014): Indications and experience with counterclockwise rotation of the maxilla- mandibular complex. *Head Face Med* 10, 8
- Potts B, Shanker S, Fields HW, Vig KWL, Beck FM (2009): Dental and skeletal changes associated with Class II surgical-orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 135, 566.e1-566.e7
- Potts B, Fields HW, Shanker S, Vig KWL, Beck FM (2011): Dental and skeletal outcomes for Class II surgical-orthodontic treatment: a comparison between novice and experienced clinicians. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 139, 305–315

- Poulton DR, Taylor RC, Ware WH (1963): Cephalometric x-ray evaluation of the vertical osteotomy correction of mandibular prognathism. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 16, 807–820
- Proffit WR, Ackermann JL: A systematic approach to orthodontic diagnosis and treatment planning. In: Graber TM, Swain BF (Hrsg.): *Current orthodontic concepts and techniques*. 3. Auflage; Mosby, St. Louis 1985, 3–100
- Proffit WR, White RP (1990): Who needs surgical-orthodontic treatment? *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 5, 81–89
- Proffit WR, Miguel JA (1995): The duration and sequencing of surgical-orthodontic treatment. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 10, 35–42
- Proffit WR, Phillips C, Dann C (1990): Who seeks surgical-orthodontic treatment? *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 5, 153–160
- Proffit WR, Phillips C, Douvartzidis N (1992): A comparison of outcomes of orthodontic and surgical-orthodontic treatment of Class II malocclusion in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 101, 556–565
- Proffit WR, Fields HW, Sarver DM, Ackerman JL (Hrsg.): *Contemporary orthodontics*. 5. Auflage; Mosby, St. Louis 2013
- Rakosi T: *Atlas und Anleitung zur praktischen Fernröntgenanalyse*. 2. Auflage; Hanser, München 1988
- Raposo R, Peleteiro B, Paço M, Pinho T (2018): Orthodontic camouflage versus orthodontic-orthognathic surgical treatment in class II malocclusion: a systematic review and meta-analysis. *Int J Oral Maxillofac Surg* 47, 445–455
- Rodríguez RR, González M (1996): Skeletal stability after mandibular setback surgery. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 81, 31–33
- Santoro M, Jarjoura K, Cangialosi T (2006): Accuracy of digital and analogue cephalometric measurements assessed with the sandwich technique. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 129, 345–351
- Severt TR, Proffit WR (1997): The prevalence of facial asymmetry in the dentofacial deformities population at the University of North Carolina. *Int J Adult Orthodon Orthognath Surg* 12, 171–176
- Sharma VK, Yadav K, Tandon P (2015): An overview of surgery-first approach: Recent advances in orthognathic surgery. *J Orthod Sci* 4, 9–12

- Silva MAG, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E (2008): Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: a radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 133, 640.e1-e5
- Singh H, Srivastava D, Kapoor P, Sharma P (2016): Surgical orthodontic correction of mandibular laterognathism. *J Orthod Sci* 5, 74–80
- Slavnic S, Marcusson A (2010): Duration of orthodontic treatment in conjunction with orthognathic surgery. *Swed Dent J* 34, 159–166
- Solow B (1980): The dentoalveolar compensatory mechanism: background and clinical implications. *Br J Orthod* 7, 145–161
- Steiner CC (1953): Cephalometrics for you and me. *Am J Orthod* 39, 729–755
- Stellzig-Eisenhauer A, Lux CJ, Schuster G (2002): Treatment decision in adult patients with Class III malocclusion: orthodontic therapy or orthognathic surgery? *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 122, 27–37
- Thilander B (1979): Indications for orthodontic treatment in adults. *Eur J Orthod* 1, 227–241
- Titiz I, Laubinger M, Keller T, Hertrich K, Hirschfelder U (2012): Repeatability and reproducibility of landmarks - a three-dimensional computed tomography study. *Eur J Orthod* 34, 276–286
- Troy BA, Shanker S, Fields HW, Vig K, Johnston W (2009): Comparison of incisor inclination in patients with Class III malocclusion treated with orthognathic surgery or orthodontic camouflage. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 135, 146.e1-e9
- van Vlijmen OJC, Maal T, Bergé SJ, Bronkhorst EM, Katsaros C, Kuijpers-Jagtman AM (2010): A comparison between 2D and 3D cephalometry on CBCT scans of human skulls. *Int J Oral Maxillofac Surg* 39, 156–160
- Wang TT, Wessels L, Hussain G, Merten S (2017): Discriminative thresholds in facial asymmetry: a review of the literature. *Aesthet Surg J* 37, 375–385
- Wirthlin J, Shetye P (2013): Orthodontist's role in orthognathic surgery. *Semin Plast Surg* 27, 137–144
- Worms FW, Isaacson RJ, Speidel TM (1976): Surgical orthodontic treatment planning: profile analysis and mandibular surgery. *Angle Orthod* 46, 1–25
- Wriedt S, Buhl V, Al-Nawas B, Wehrbein H (2009): Combined treatment of open bite – long-term evaluation and relapse factors. *J Orofac Orthop* 70, 318–326

- Yang L, Xiao YD, Liang YJ, Wang X, Li JY, Liao GQ (2017): Does the Surgery-First Approach Produce Better Outcomes in Orthognathic Surgery? A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Oral Maxillofac Surg Off J Am Assoc Oral Maxillofac Surg* 75, 2422–2429
- Zingler S, Hakim E, Finke D, Brunner M, Saure D, Hoffmann J, Lux CJ, Erber R, Seeberger R (2017): Surgery-first approach in orthognathic surgery: psychological and biological aspects - a prospective cohort study. *J Craniomaxillofac Surg* 45, 1293–1301